N° D'ORDRE : 6
SÉRIE : U

THÈSES

présentées

A LA FACULTÉ DES SCIENCES DE L'UNIVERSITÉ DE STRASBOURG

pour obtenir

LE TITRE DE DOCTEUR DE L'UNIVERSITÉ DE STRASBOURG

(mention : **SCIENCES**)

par

N. A. COMISSOPOULOS

GÉOPHYSICIEN DIPLOMÉ DE L'INSTITUT DE PHYSIQUE DU GLOBE DE STRASBOURG
PRÉPARATEUR AU LABORATOIRE DE GÉOPHYSIQUE DE L'ÉCOLE PRATIQUE DES HAUTES-ÉTUDES.

1re THÈSE. — Contribution à l'Étude du Climat Égyptien : Écarts de pression atmosphérique. Période 1906–1920.

2e THÈSE. — Proposition donnée par la Faculté.

Soutenues le 14 1923, devant la Commission d'Examen

MM. ROTHÉ . . . . . *Président*
DE LAPPARENT . . . . . } *Examinateurs*
REMPP . . . . . }

STRASBOURG
Imprimerie Alsacienne anc. G. Fischbach
1923

Nº D'ORDRE : 6

SÉRIE : U

THÈSES

présentées

A LA FACULTÉ DES SCIENCES DE L'UNIVERSITÉ DE STRASBOURG

pour obtenir

LE TITRE DE DOCTEUR DE L'UNIVERSITÉ DE STRASBOURG

(mention : SCIENCES)

par

N. A. COMISSOPOULOS

GÉOPHYSICIEN DIPLOMÉ DE L'INSTITUT DE PHYSIQUE DU GLOBE DE STRASBOURG
PRÉPARATEUR AU LABORATOIRE DE GÉOPHYSIQUE DE L'ÉCOLE PRATIQUE DES HAUTES-ÉTUDES.

1re THÈSE. — Contribution à l'Étude du Climat Égyptien: Écarts de pression atmosphérique. Période 1906—1920.

2e THÈSE. — Proposition donnée par la Faculté.

R. UNIV. BIBLIOTHEEK LEIDEN

Soutenues le 14 MARS *1923, devant la Commission d'Examen*

MM. ROTHÉ . . . . . *Président*
DE LAPPARENT . . . . . } *Examinateurs*
REMPP . . . . . }

STRASBOURG
Imprimerie Alsacienne anc. G. Fischbach
1923

FACULTÉ DES SCIENCES DE L'UNIVERSITÉ DE STRASBOURG

Doyen	P. MULLER	Professeur de Chimie générale et de Chimie physique.
Doyen honoraire	E. BATAILLON	
Professeurs	A. DENJOY	Mathématiques générales.
	G. VALIRON	Calcul différentiel et intégral.
	H. VILLAT	Mécanique.
	M. FRÉCHET	Analyse supérieure.
	E. ESCLANGON	Astronomie.
	P. WEISS	Physique générale.
	H. OLLIVIER	Physique générale.
	E. ROTHÉ	Physique du Globe.
	L. HACKSPILL	Chimie minérale.
	H. GAULT	Chimie organique.
	E. TOPSENT	Zoologie et Anatomie comparée.
	C. HOUARD	Botanique.
	E. TERROINE	Physiologie générale.
	J. DE LAPPARENT	Pétrographie.
	M. GIGNOUX	Géologie et Paléontologie.
	E. CHATTON	Biologie générale.
	E. BAUER	Physique mathématique.
	E. CORNEC	Chimie appliquée.
	H. LABROUSTE	Physique du Globe.
	G. RIBAUD	Physique générale.
	F. VLÈS	Physique biologique.
Secrétaire	A. RENARD.	

A

MONSIEUR EDMOND ROTHÉ

PROFESSEUR A LA FACULTÉ DES SCIENCES DE STRASBOURG
DIRECTEUR DE L'INSTITUT DE PHYSIQUE DU GLOBE

Hommage d'un élève respectueux
et reconnaissant.

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41550001_0014

Je suis heureux d'adresser l'expression de toute ma gratitude à mon maître, Monsieur le Professeur Rothé, dont l'aide et les précieux conseils m'ont permis d'achever ce travail. Je ne saurais oublier son accueil et celui de ses collaborateurs, Messieurs Rempp et Labrouste, auxquels j'exprime mes sentiments les plus reconnaissants.

Je remercie vivement mes anciens Professeurs de l'Université de Bordeaux, Messieurs Picart, Trousset, Guinchant et Bénard qui se sont intéressés à mon éducation scientifique dès mon arrivée en France.

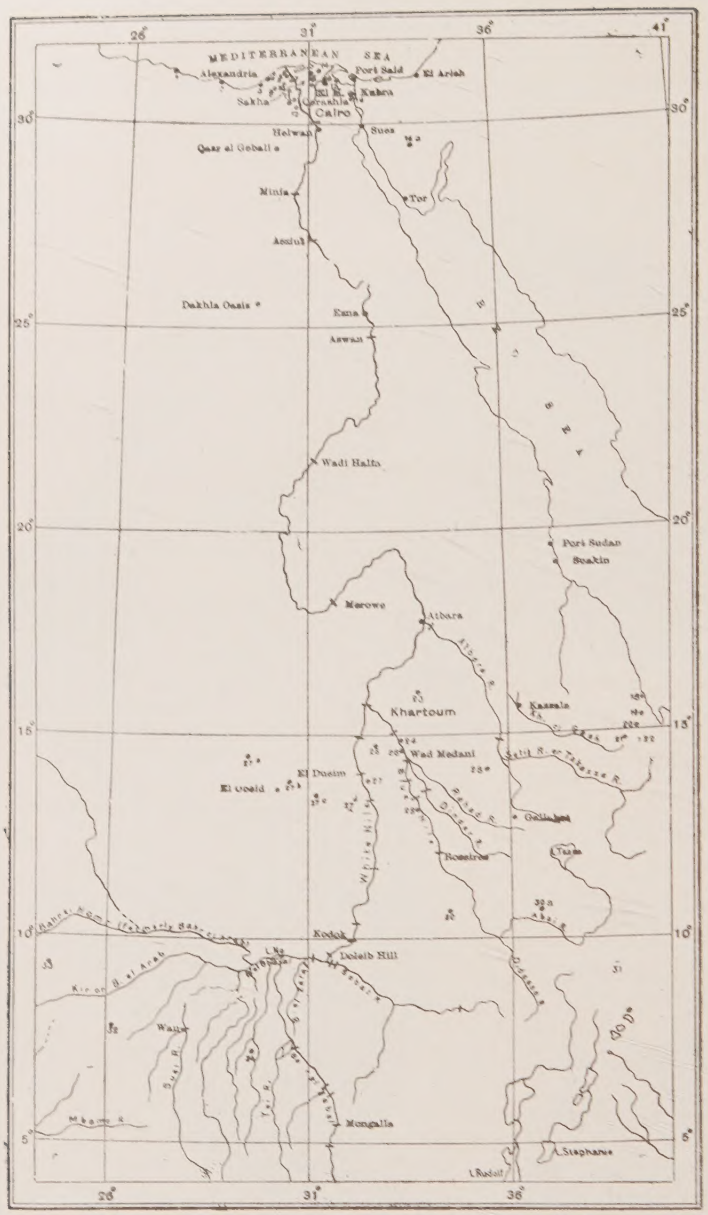
Que mes amis, Messieurs le Dr N. Géorgiadès, E. M. Michalitsianos et Carapanos dont la libéralité m'a permis de poursuivre mes études, trouvent ici l'expression de toute ma reconnaissance.

PLANCHE I.

Carte orographique de l'Afrique.

(Échelle, 1 : 60,000,000).

PLANCHE II.



Carte montrant les stations météorologiques de l'Égypte et du Soudan.

Les stations météorologiques par leur nom.
Les stations pluviométriques par un numéro d'ordre.
Les stations nilométriques par un —.

(Échelle, 1 : 15,000,000).

CONTRIBUTION A L'ÉTUDE DU CLIMAT ÉGYPTIEN

ÉCARTS DE PRESSION ATMOSPHÉRIQUE

Période 1906—1920.

INTRODUCTION

Établir aussi correctement que possible les écarts de la pression atmosphérique tels qu'ils sont observés en Égypte et au Soudan; chercher les relations entre ces écarts et les autres éléments météorologiques et les rapports avec les phénomènes de la circulation générale de l'atmosphère; étudier la variabilité de ces écarts, tel est le but que je me suis proposé dans ce travail.

J'ai utilisé les documents provenant des rapports officiels du service météorologique Égyptien (1) *), ainsi que d'autres données non encore publiées et qui ont été aimablement mises à ma disposition par mon très estimé chef, Monsieur H. E. HURST, Dr. Sc., Contrôleur du Service Physique du Gouvernement Égyptien, dont dépend le service météorologique et à qui je suis particulièrement heureux d'adresser mes très vifs remerciements **).

Avant d'aborder directement le sujet qui fait l'objet de ce mémoire, j'ai jugé utile d'exposer sommairement les conditions atmosphériques générales qui régissent le climat Égyptien telles qu'elles ressortent de la considération des documents mentionnés ci-dessus.

1. Rôle du champ de pression atmosphérique au-dessus de l'Égypte et du Soudan dans la circulation générale de l'atmosphère.

On a divisé la surface terrestre dans chaque hémisphère en deux zônes principales, séparées par deux bandes plus étroites (2). Les zônes principales sont: celle des vents variables se dirigeant approximativement depuis le parallèle 35° vers le pôle, celle des vents réguliers depuis le parallèle 30° jusqu'à quelques degrés de l'équateur; les bandes étroites sont: les deux régions des calmes, à savoir, celle de haute pression atmosphérique entre la latitude 35° et 30° et celle de basse pression atmosphérique qui englobe un intervalle de quelques degrés de part et d'autre de l'équateur.

Toutes ces zônes et bandes ne sont pas fixes pendant toute l'année; elles se déplacent au contraire vers le Nord, en même temps que la déclinaison nord du soleil croît, en présentant par rapport au mouvement du soleil un certain retard; elles reculent à sa suite vers le Sud et, avec un nouveau retard, reprennent leur mouvement vers le pôle.

Il est aussi probable, comme l'a démontré le Colonel RAWSON (3), que les bandes de haute pression ont en latitude un mouvement périodique d'une période de 19 ans. La limite polaire du courant qui se dirige vers l'équateur — ou alizé — varie sur l'Atlantique depuis 26° latitude nord en Mars jusqu'à 35° latitude nord en Septembre ***), soit une différence de 9° de latitude. On voit que l'Égypte ****, qui s'étend jusqu'à 31°5 de latitude nord se trouve en hiver en partie en dehors (du côté du pôle) de la bande des 5 degrés de haute pression et par suite

---

*) Les nombres renvoient aux citations données à la fin.

**) L'auteur a eu l'avantage d'être attaché à ce service pendant une période de douze ans.

***) Voir ANGOT, Traité Élémentaire de Météorologie, année 1916, page 160.

****) Voir Carte Orographique de l'Afrique (planche I).

dans la région des vents variables qui se dirigent vers le pôle, tandis qu'en été elle est entièrement comprise dans la zône des alizés. C'est pourquoi la contrée qui fait l'objet de cette étude, occupant par rapport aux zônes ci-dessus une position tantôt limite, tantôt intermédiaire, présente un intérêt météorologique qui lui est propre et qui est instructif à divers titres.

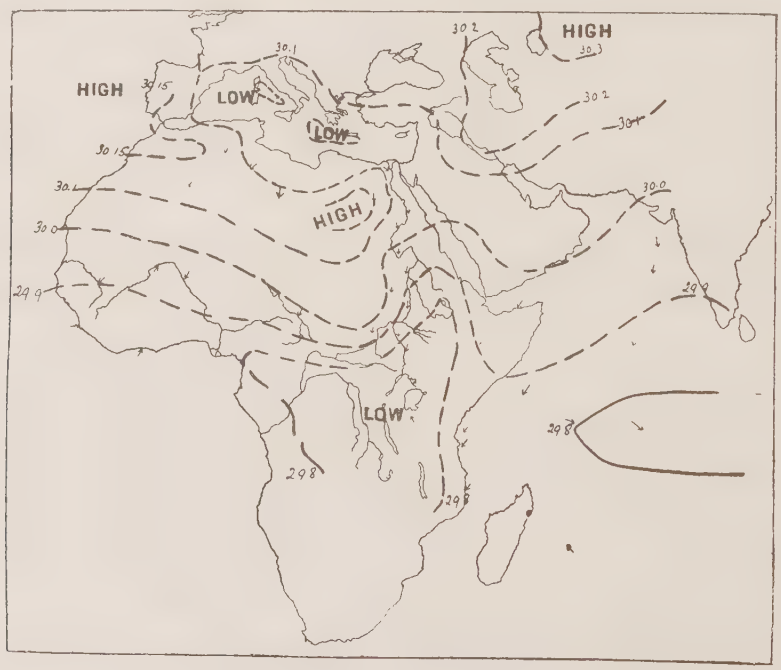
D'autre part, il est très probable que cette bande de haute pression se compose plutôt d'une série de systèmes anticycloniques qui se succèdent de l'ouest vers l'est (4). Aussi l'acheminement dans cette zône des vents variables des dépressions atmosphériques venant de l'ouest constitue un des caractères prédominants de cette région et est peut-être la principale cause de la variabilité des vents.

Les systèmes cycloniques sont ordinairement bien définis et ont un centre bien distinct, qui peut être suivi de jour en jour sur la carte, pourvu que l'on dispose d'un nombre suffisant d'observations. Au contraire, les systèmes anticycloniques sont généralement mal définis, leur centre est mal déterminé et difficile à suivre. Leur étude exige beaucoup de temps et nécessite l'existance d'un grand nombre de stations météorologiques. De là, la complexité de l'étude des variations de pression atmosphérique dues à l'acheminement de ces systèmes de haute pression, et la nécessité d'un raccordement de ces variations à celles qui sont dues à l'acheminement des basses pressions.

2. La distribution de la pression atmosphérique sur l'Égypte et le Soudan.

La distribution de la pression se résume ainsi: en hiver un large anticyclone s'étend sur le Sahara à l'ouest de l'Égypte et fait probablement suite à celui de l'Atlantique. D'autre part, l'anticyclone établi sur la Sibérie s'avance vers le Sud et gagne le golfe Persique. Mais une région de haute pression et d'intensité relativement moindre s'établit sur l'Arabie et divise en deux le «*col*» existant entre les deux grands anticyclones *). La pression atmosphérique est alors basse sur le bassin méditerranéen qui est traversé par des dépressions venant de l'ouest vers l'est comme il a été dit plus haut. Quant au Soudan, pour cette même période une vallée de basse pression s'y étend faisant suite au minimum équatorial. Cette distribution hivernale est reproduite par la figure suivante.

Fig. 1. — Distribution de la pression atmosphérique en Janvier.



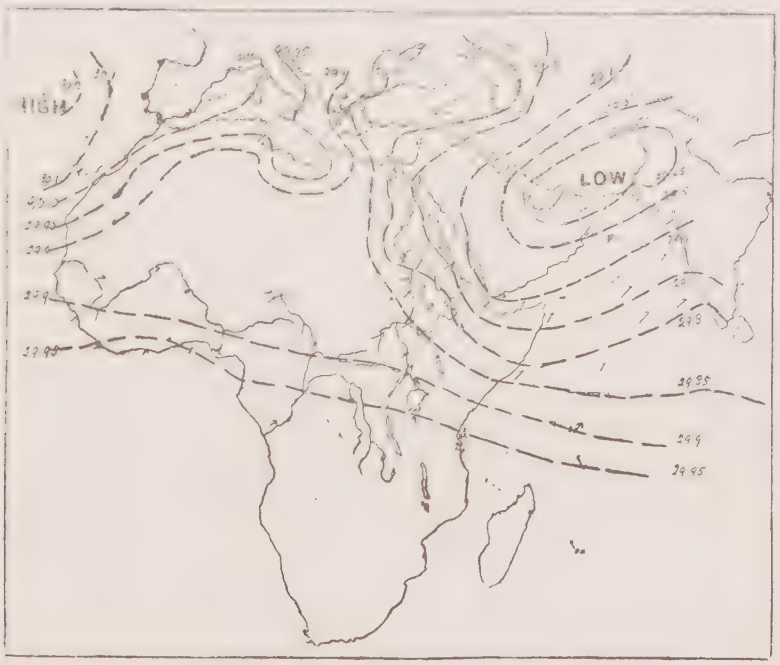
Les pressions sont données en pouces anglais.

Au printemps, la pression diminue graduellement et simultanément sur l'Égypte et le Soudan. La dépression des moussons commence à se dessiner au nord du Golfe Arabique. Pendant cette période transitoire, le minimum équatorial s'avance vers le nord, se comble gra-

*) Le cliché de la carte orographique (planche I), ainsi que ceux des figures 1, 2 et 4 m'ont été gracieusement prêtés par le Conseil d'Administration du „Quarterly Journal Royal Meteorological Society" avec l'assentiment de MM. le Colonel LYONS et J. I. CRAIG.

duellement pour ormer entre les parallèles 10° et 20° de latitude nord sur le Soudan Central une région cyclonique qui finalement s'unit vers le mois de Juillet avec la dépression des moussons dont on a remarqué plus haut l'apparition sur le golfe Persique. Le Soudan est alors couvert d'un réseau de lignes isobariques en forme de V ouvert vers le N. E.*). Les conditions exposées ci-dessus se répètent en sens inverse au passage de la période estivale à la période hivernale. En résumé, en été, comme le montre la figure 2, on observe une dépression très prononcée sur le golfe Persique, un anticyclone permanent à l'ouest de l'Égypte et une région de hautes pressions sur la zône équatoriale.

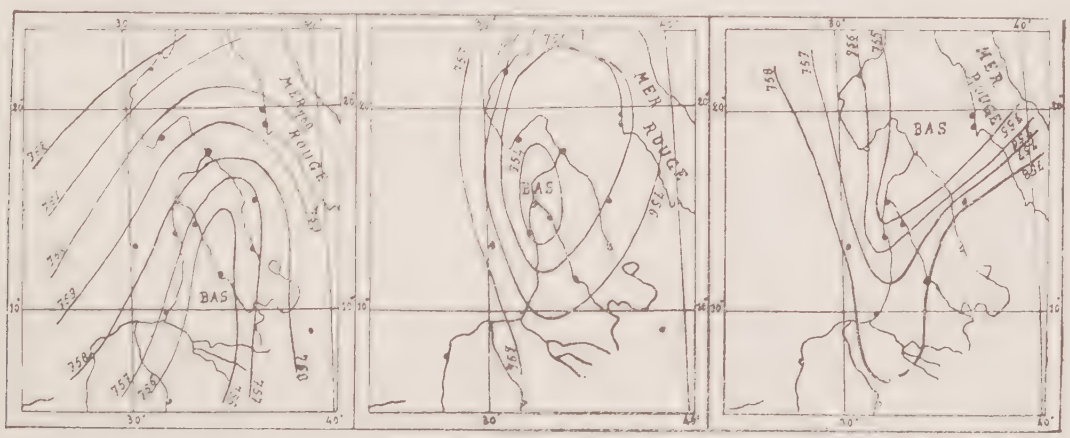
Fig. 2. — Distribution de la pression atmosphérique en juillet.



Les pressions sont données en pouces anglais.

Afin de mieux faire ressortir les transformations qui prennent naissance dans la distribution de la pression atmosphérique sur le Soudan, depuis la période hivernale jusqu'à la période estivale, je donne ci-après la figure 3, représentant les trois étapes successives de ces transformations (5) (6).

Fig. 3. — Valeurs normales.



Février	Juin	Août
Distribution Hivernale.	Distribution Transitoire.	Distribution Estivale.

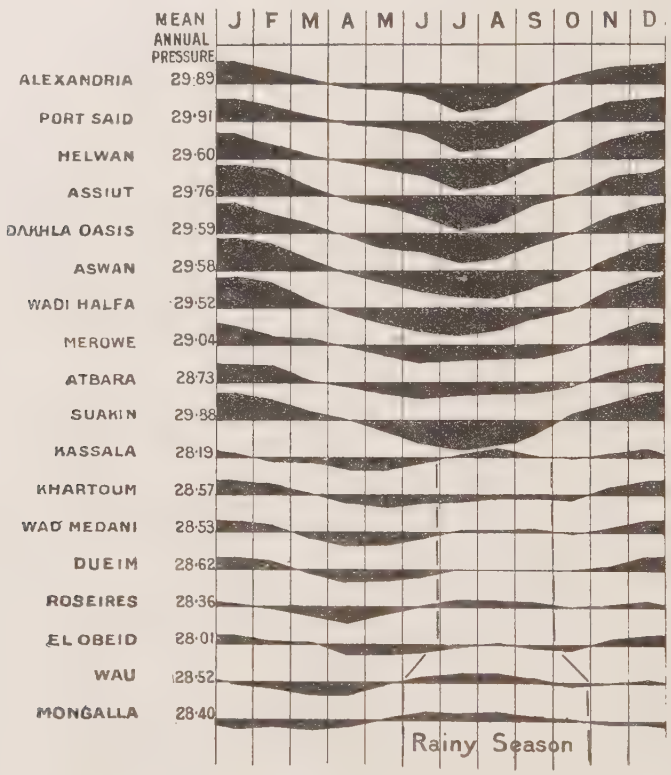
*) Pendant cette courte période le Soudan est envahi par les moussons du sud-ouest qui soufflent des régions équatoriales comme des courants de surface ne dépassant pas 5000m. d'altitude. Ces courants obligent les alizés à se déplacer vers le haut. (Voir B. F. E. Keeling, Cairo Scientific Journal, Octobre 1908, p. 355).

Dans sa marche annuelle la pression atmosphérique présente sur le réseau Égyptien et Soudanais les particularités suivantes :

Pour les stations proches du littoral méditerranéen on observe un maximum très marqué en Décembre—Janvier et un minimum également marqué en Juillet—Août. Vers le Sud, la variation saisonnière diminue et s'étale au point de former au cours de l'année deux maxima et deux minima, qui se distribuent pour certaines stations entre Juillet—Août pour les maxima, Avril—Mai et Octobre pour les minima.

Comme en Égypte la pression est en étroite covariation négative avec la température, il s'ensuit que ces maxima et minima correspondent avec le double passage de l'équateur thermique au nord de l'équateur géographique, et les deux crêtes de température maxima qu'on observe pendant l'année pour les stations soudanaises correspondent, avec un certain décalage dû à des causes locales, aux minima de pression atmosphérique observés sur la figure 4. Cette figure, due au Colonel LYONS F. R. S. rend ces variations très saisissantes.

Fig. 4. — Variation saisonnière de la pression atmosphérique.



Pressions données en pouces anglais.

CHAPITRE PREMIER

1. La région considérée. Les données utilisées et la méthode de calcul.

Cette région s'étend depuis la latitude 4° Nord jusqu'à la latitude 31°5 Nord. Elle comprend l'Égypte et le Soudan Anglo-Égyptien. Vingt-quatre stations principales ont été choisies et réparties en districts comme il suit*) :

A. District de la Basse-Égypte	Alexandrie Port Said Abbassia Gîza Helwân Suez Qasr-el-Gebali	C. District de la moitié Nord du Soudan	Merowe Atbara Kassala Khartoum Port Soudan Wad Medani Dueim
B. District de la Haute-Égypte	Tor Asyût Dakhla Aswân Wadi-Halfa	D. District de la moitié Sud du Soudan	Gallabat Roseires El Obeid Kodok Mongalla

Les coordonnées géographiques sont données par le tableau suivant.

TABLE I

Coordonnées géographiques.

STATIONS	Nombre d'observations par jour.	Latitude Nord	Longitude E. de Greenwich.	Altitude en mètres *
		° ′	° ′	
Alexandrie	3	31 12	29 53	32,0
Port Said	2	31 16	32 19	3,5
Abbassia	3	30 05	31 17	29,9
Gîza	3	30 02	31 13	22,1
Helwân	3	29 52	31 20	115,6
Suez	3	29 56	32 33	3,4
Tor	3	28 14	33 37	1,7
Qasr-el-Gebali	3	29 20	30 38	7,6
Asyût	3	27 11	31 13	55,4
Dakhla	3	25 29	29 00	130,0
Aswân	3	24 02	32 53	99,6
Wadi-Halfa	3	21 55	31 19	128,3
Merowe	3	18 29	31 50	255,1
Atbara	3	17 40	33 58	354,5
Kassala	3	15 28	36 24	507,8
Khartoum	3	15 37	32 33	390,0
Port Soudan	3	19 37	37 13	5,9
Gallabat	3	12 48	36 10	764,0
Roseires	2	11 51	34 23	466,9
Wad Medani	3	14 24	33 31	407,6
Dueim	2	14 00	32 20	383,3
El Obeid	3	13 11	30 14	585,0
Kodok	3	09 53	32 08	387,5
Mongalla	3	05 11	31 47	439,0

* Altitude au-dessus du niveau moyen de la mer Méditerranée. Toutes ces valeurs ont été obtenues par nivellement.

*) La carte (planche II) donne la position de ces stations météorologiques.

De toutes ces stations une seule (Helwân), où l'on publie des observations horaires, est considérée comme étant du premier ordre. Les autres, où il se fait des relevés tri-quotidiens, à 8 h., 14 h. et 20 h., ou bi-quotidiens à 8 h. et 20 h. *) sont considérées comme des stations de second ordre. La répartition de ce nombre d'observations par jour est donnée dans la première colonne du tableau précédent.

Dans le cas des stations à observations tri-quotidiennes, on dispose chaque mois de 90 observations de pression atmosphérique. Dans le cas des stations à observations bi-quotidiennes on dispose de 60 observations mensuelles de pression atmosphérique. Parmi ces observations j'ai pris la plus haute et la plus basse lecture de chaque mois. Puis j'ai fait la différence de ces deux lectures à laquelle j'ai donné le nom «*d'écart mensuel de pression*» **). La méthode exposée ci-dessus a été déjà employée par FELBERG, assistant à la Deutsche Seewarte pour l'étude de 316 stations réparties sur le Globe et a été commentée par KÖPPEN (7). Le travail de Felberg fut publié dans les archives de la Deutsche Seewarte, N° 3, première moitié de l'année 1878 et ne contient pas bien entendu le réseau que je considère ici, puisque sa création ne date que de quelques années seulement. Cette méthode qui se présente naturellement à l'esprit n'a pas été suivie par d'autres auteurs. On lui reproche d'avoir à traiter sur des chiffres individuels et non pas sur des moyennes. Mais pour peu qu'on prenne soin de vérifier ces données en les comparant aux valeurs fournies par les diagrammes des enregistreurs comme j'ai eu soin de le faire, cette objection est facilement levée puisque la méthode présente le grand avantage de ne pas masquer les phénomènes de la nature par une réduction systématique des écarts réels de la pression due à la prise de moyennes. D'ailleurs, la constance relative des résultats d'année en année n'est-elle pas un criterium bien sûr de la valeur de la méthode? Une autre objection qui pourrait être soulevée est celle d'un manque de «*synchronisme*». En effet, le maximum absolu ainsi que le minimum absolu pour chaque mois, peuvent avoir lieu à des dates et des heures quelconques d'ailleurs différetnes aux différents endroits. L'écart entre ces deux chiffres n'a donc qu'une valeur relative et non pas une valeur absolue puisqu'il n'y a pas de concordance de temps dans le choix de ces valeurs extrêmes. Mais cette objection tombe d'elle-même car il n'y a non plus aucun *synchronisme* dans la nature en ce qui concerne le passage des systèmes cycloniques et anticycloniques tant au point de vue de leur nombre qu'à celui de leur profondeur ou intensité et qu'en fin de compte une loi relative doit cependant régir la production et la propagation de ces phénomènes. Il n'est pas rare, il est plutôt fréquent de constater sur les cartes isobariques que des dépressions d'une rare profondeur sont suivies ou précédées par des anticyclones d'une hauteur aussi exceptionnelle (8) dans une et même saison. En définitive, la succession de ces cyclones et anticyclones sera, à mon avis, le plus fidèlement traduite par l'expression des écarts tels qu'ils ont été conçus dans la présente étude. A l'appui de ces considérations j'aurai lieu d'établir plus loin qu'au point de vue de la météorologie dynamique ces écarts ont une valeur réelle, puisque j'obtiendrai des covariations assez étroites entre ces écarts et les autres phénomènes météorologiques. Le Dr LOCKYER dans son ouvrage précité (4) sur l'étude des variations des pressions atmosphériques au pôle Sud, page 3, tire ses écarts de la moyenne des *trois* maxima les plus marqués de chaque mois et de la moyenne des *trois* minima qui suivent ces maxima. D'autre part, le Dr SUTTON, dans son étude sur la variabilité barométrique des stations Sud-Africaines (9), calcule ses écarts en prenant les différences des pressions en 24 h. entre 8 h. du jour et 8 h. du jour suivant (variabilité interdiurne). J'examinerai ces résultats dans le paragraphe suivant de ce chapitre. Il me reste à signaler une dernière méthode de calcul qui serait la plus rationnelle entre toutes, par le fait qu'elle donnerait des valeurs absolues de la variation de la pression atmosphérique: c'est le calcul de l'écart type pour toutes les observations disponibles de chaque mois comparées à la valeur moyenne de ce mois. Par suite de la longueur des calculs, cette méthode n'est pas toujours applicable à moins qu'on ne dispose d'un personnel nombreux et de moyens de calcul mécanique facilitant matériellement les opérations (10). J'ai déjà employé cette méthode pour l'étude de la variabilité de la pluie en Angleterre (11) et tout récemment pour l'étude de la variabilité des températures en Europe et en Amérique (12). Son application est sujette à une extension importante pour le traitement statistique des éléments météorologiques, car la variabilité d'une série de grandeurs observées (ici pendant un mois) est exprimée par un indice simple, grâce auquel on peut comparer plusieurs groupes de grandeurs sous le rapport de leur variabilité par rapport à la moyenne des grandeurs de chaque groupe. Cette méthode sera employée ici-même pour l'étude de la variabilité saisonnière et périodique des «écarts». Pour terminer, je ferai remarquer que l'étude de la vitesse de propagation de ces variations n'a pu être envisagée dans le cadre de cette présente étude: elle m'aurait trop écarté du but proposé. Enfin

---

*) L'heure moyenne en Égypte est en avance de 2 heures exactement sur celle de Greenwich. Il sera conservé aux mots tri-quotidien et bi-quotidien toujours le même sens, tel qu'il vient d'être défini.

**) Les pressions ont été corrigées de l'erreur instrumentale et réduites à zéro. Dans les pages qui suivront le mot «écart» employé seul désignera toujours les écarts de pression atmosphérique.

je n'ai pas tenu compte de l'influence sur les écarts de la variation semi-diurne de la pression atmosphérique, car on peut dire que cette influence se réduit considérablement. Ainsi, par exemple, si une lecture minima quelconque a lieu à dix heures du matin au moment où l'onde semi-diurne est maxima, la valeur de cette lecture minima sera diminuée par l'influence de l'onde maxima. L'inverse peut être dit pendant la coïncidence d'une lecture maxima et l'onde semi-diurne minima De sorte qu'à la longue, on peut considérer ce double effet des ondes maxima et minima sur les lectures extrêmes du mois comme se compensant mutuellement par la prise des moyennes des écarts. La variation diurne ne conserve d'influence que quand la variation apériodique est nulle ou très faible. J'ai toutefois calculé l'amplitude de cette onde semi-diurne qui peut varier en moyenne entre 1,7 millimètres en Egypte (Helwân) et 2,8 millimètres au Soudan (Khartoum).

TABLE II

OBSERVATOIRE DE HELWÂN

Écarts de la pression atmosphérique en millimètres.

1. — D'après les observations horaires

Année	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Sept.	Octobre	Nov.	Déc.	Moyenne
1904	12,6	13,7	19,6	16,4	11,0	8,1	6,9	7,5	6,6	6,5	11,5	13,6	11,2
1905	12,3	12,7	12,2	15,2	9,5	10,7	6,0	6,6	8,1	8,7	13,2	15,8	10,9
1906	12,4	17,3	13,2	17,6	10,8	13,1	6,9	5,9	9,2	6,7	8,3	11,1	11,0
1907	15,7	12,9	18,1	16,9	9,9	6,5	8,6	7,6	7,8	8,2	9,6	9,9	11,0
1908	15,3	17,2	14,1	10,0	9,9	7,7	6,9	6,3	8,3	5,8	10,9	13,5	10,5
Moyenne	13,7	14,8	15,4	15,2	10,2	9,2	7,1	6,8	8,0	7,2	10,7	12,8	10,9

2 — D'après les observations tri-quotidiennes

1904	13,0	12,7	18,2	16,9	10,5	7,8	5,3	7,1	5,2	6,1	10,8	13,0	10,6
1905	11,2	13,1	11,4	11,7	8,8	9,6	5,5	5,8	7,2	6,8	12,9	15,0	9,9
1906	10,9	16,5	15,0	17,3	9,9	10,9	7,5	5,2	7,7	5,8	8,2	11,0	10,5
1907	15,4	12,5	16,4	15,7	9,7	5,9	8,1	6,9	8,1	7,5	9,3	9,4	10,4
1908	12,8	16,3	13,8	8,9	8,9	6,5	6,2	5,9	8,1	5,7	10,9	13,3	9,8
Moyenne	12,7	14,2	15,0	14,1	9,6	8,1	6,5	6,2	7,3	6,4	10,4	12,3	10,2

3 — D'après les observations bi-quotidiennes

1904	11,1	12,5	17,9	15,2	8,8	6,9	5,0	6,3	5,0	5,5	9,3	11,6	9,6
1905	10,6	9,7	11,1	14,7	8,7	7,3	5,6	5,3	6,6	6,5	8,6	15,0	9,1
1906	10,7	16,5	14,2	17,3	9,2	10,9	7,5	4,8	7,5	4,6	6,4	9,4	9,9
1907	14,2	11,2	16,4	14,7	8,6	5,1	7,9	6,7	7,3	5,5	8,0	8,3	9,5
1908	12,4	16,2	13,6	8,8	8,7	6,5	6,2	5,7	7,4	5,3	10,4	10,6	9,3
Moyenne	11,9	13,2	14,6	14,1	8,8	7,3	6,4	5,8	6,8	5,5	8,5	11,0	9,5

4. — D'après les différences en 24 h. de 8 h. à 8 h.

1904	2,3	1,8	2,7	2,2	1,6	1,3	0,8	1,1	0,9	0,9	1,6	1,8	1,6
1905	2,0	1,8	1,8	1,8	1,1	1,4	0,7	0,6	1,0	1,1	1,4	1,7	1,4
1906	1,6	2,8	2,0	1,9	1,6	1,2	1,0	0,9	0,9	0,9	1,0	2,1	1,5
1907	2,2	2,2	2,6	2,6	1,4	1,1	1,1	0,9	0,7	0,9	1,4	1,5	1,6
1908	2,4	2,4	2,3	1,9	1,1	0,9	0,7	0,8	0,9	0,8	1,6	1,4	1,4
Moyenne	2,1	2,2	2,3	2,1	1,4	1,2	0,9	0,9	0,9	0,9	1,4	1,7	1,5

TABLE III

OBSERVATOIRE DE HELWÂN

Écarts moyens de la pression atmosphérique en millimètres pour la période 1904—1908 inclusivement

	ÉCARTS MOYENS				DIFFÉRENCES					
	d'après observations horaires A	d'après observations tri-quotid. B	d'après observations bi-quotid. C	d'après différences en 24 heures D	A—B	A—C	A—D	B—C	B—D	C—D
Janvier . . .	13,7	12,7	11,9	2,1	+1,0	+1,8	+11,6	+0,8	+10,6	+9,8
Février . . .	14,8	14,2	13,2	2,2	0,6	1,6	12,6	1,0	12,6	11,0
Mars	15,4	15,0	14,6	2,3	0,4	0,8	13,1	0,4	12,7	12,3
Avril	15,2	14,1	14,1	2,1	1,1	1,1	13,1	0,0	12,0	12,0
Mai.	10,2	9,6	8,8	1,4	0,6	1,4	8,8	0,8	8,2	7,4
Juin	9,2	8,1	7,3	1,2	1,1	1,9	8,0	0,8	6,9	6,1
Juillet. . . .	7,1	6,5	6,4	0,9	0,9	0,7	6,2	0,1	5,6	5,5
Août	6,8	6,2	5,8	0,9	0,6	1,0	5,9	0,4	5,3	4,9
Septembre . .	8,0	7,3	6,8	0,9	0,7	1,2	7,1	0,5	6,4	5,9
Octobre . . .	7,2	6,4	5,5	0,9	0,8	1,7	6,3	0,9	5,5	4,6
Novembre . .	10,7	10,4	8,5	1,4	0,3	2,2	9,3	1,9	9,0	7,1
Décembre . .	12,8	12,3	11,0	1,7	0,5	1,8	11,1	1,3	10,6	9,3
Année. . . .	10,9	10,2	9,5	1,5	0,7	1,4	9,4	0,7	8,7	8,0

2. Réduction des observations pour les rendre comparables.

Sur les 24 stations choisies et jusqu'à l'année 1909 inclusivement, six faisaient des observations bi-quotidiennes et 18 des observations tri-quoditiennes. De 1910 à 1915, les stations d'observations bi-quotidiennes ont été réduites à 4, et les stations d'observations tri-quotidiennes portées à 20. De 1916 à 1920, les stations d'observations bi-quotidiennes ont été réduites à 3 et celles à observations tri-quotidiennes portées à 21. Par suite, l'on voit qu'il n'y avait pas d'uniformité dans la méthode d'observation, d'où nécessité d'une réduction générale afin que la comparaison de toutes ces observations puisse devenir possible. L'observatoire de Helwân à observations continues fut choisi comme station type pour la réduction des observations. Ses vingt-quatre observations quotidiennes *) donnant 720 observations mensuelles ont été utilisées à cet effet. De cette série de chiffres, j'ai relevé pour chaque mois et, de même, pour tous les mois de l'année, pour la période de cinq années s'étendant de 1904 à 1908, la plus haute et la plus basse lecture ; la différence de ces valeurs donnait ainsi l'écart de pression pour le mois. De semblable façon, j'ai calculé dans la même série d'observations complètes, les écarts tirés seulement des observations tri-quotidiennes (8 h., 14 h., 20 h.) et bi-quotidiennes (8 h. et 20 h.), comme cela se fait dans les autres stations météorologiques à observations directes. Ces résultats sont exposés dans le tableau II. Leurs moyennes et différences sont données par le tableau III. Ensuite et afin de déterminer le degré de parenté de ces écarts tirés soit des observations horaires, soit des observations tri-quotidiennes ou bi-quotidiennes, dans cette série de chiffres présentant un caractère spécial d'homogénéité **), les coefficients de covariation entre les trois séries des chiffres portés sous les rubriques 1, 2 et 3 du tableau II ont été calculés et donnèrent les résultats suivants :

$$r_{12} = + 0{,}91 \pm 0{,}02$$
$$r_{13} = + 0{,}90 \pm 0{,}02$$
$$r_{23} = + 0{,}94 \pm 0{,}02$$

*) Cette recherche représente un dépouillement de 43.200 observations individuelles pour la période en question.

**) Calculées et réduites d'après les enregistreurs.

En outre, les moyennes du tableau III montrent que les écarts calculés d'après les observations horaires accusent en moyenne des valeurs plus fortes de 0,7 mm. que ceux fournis par les observations tri-quotidiennes et de 1,4 mm. que ceux fournis par les observations bi-quotidiennes. Ainsi les écarts extraits des observations tri-quotidiennes donnent également un chiffre supérieur de 0,7 mm. à celui tiré des écarts d'après les observations bi-quotidiennes. La similitude de ces résultats est frappante et il est de toute évidence d'après la forte connexion établie par les coefficients de covariation que :

1° Les écarts réalisés par les observations tri-quotidiennes donnent une représentation parfaite des différences entre les valeurs réelles limites de chaque mois. Les différences limites sont 1,1 mm. et 0,4 mm.; ce qui fait une moyenne de 0,7 mm.

2° On peut facilement ramener les écarts d'après les observations bi-quotidiennes aux écarts tirés des observations tri-quotidiennes ou à ceux extraits des observations horaires et vice-versa en appliquant les corrections établies dans le tableau III. J'ai adopté pour les quelques stations à observations bi-quotidiennes mentionnées plus haut une correction moyenne de + 0,7 mm. pour ramener leurs écarts à des valeurs correspondant aux écarts d'après les stations à observations tri-quotidiennes.

J'ai déjà parlé dans le paragraphe précédent du travail du Dr. SUTTON sur la «variabilité barométrique» pour les stations Sud-Africaines. J'ai essayé la même expérience dans la série des chiffres de Helwân précitée pour les 5 années 1904—1908 et j'ai pris les différences de pression en 24 heures, de 8 h. à 8 h. le matin suivant. Les moyennes mensuelles de ces quantités qui ont été prises en valeur absolue sont introduites sous la rubrique 4 du tableau II et leurs moyennes dans la colonne D du tableau III. Les chiffres ont été comparés à leurs correspondants des rubriques 1, 2 et 3 et donnèrent les coefficients de covariation suivants :

$$r_{14} = +0{,}39 \pm 0{,}08$$
$$r_{24} = +0{,}55 \pm 0{,}06$$
$$r_{34} = +0{,}51 \pm 0{,}07$$

Le rapport n'est pas aussi étroit que dans le cas des écarts. De toutes les valeurs des écarts, celles tirées des observations tri-quotidiennes ont une ressemblance plus grande avec les différences des pressions en 24 heures, car leur coefficient de covariation est le plus fort $r_{24} = +0{,}55 \pm 0{,}06$, bien que cette ressemblance ne soit pas très marquée. Les valeurs moyennes de ces différences en 24 heures sont naturellement beaucoup moindres que celles des écarts de pression traités dans ce travail.

CHAPITRE II

1. Écarts maxima et minima et fréquence de ces écarts.

En Égypte, pendant cette période de quinze ans (1906—1920), le plus grand écart observé dans un mois a été de 22,9 mm. à Abbassia en Février 1911 et le plus faible 2,9 mm. à Qasr-el-Gebali en Septembre 1907. Au Soudan, on a enregistré un maximum de 18,4 mm. à Wadi-Halfa en Mars 1906 et un minimum de 3,0 mm. à El-Obeid en Octobre 1920. Le tableau IV donne la distribution de la fréquence de ces écarts extrêmes pour chaque mois, et pour toute la période de 15 ans. Traduits en pourcentage, ces chiffres indiquent que les écarts maxima arrivent le plus souvent en Février (35 % de tous les cas des maxima), suivi de très près par le mois de Mars (25 % de tous les cas). De même pour les écarts minima, le mois d'Août est caractérisé par les plus faibles écarts (30 % de tous les cas des minima), précédé d'assez près par le mois de Juillet (24 % de tous les cas). Si on examine attentivement ce tableau, on voit qu'en certains cas, comme par exemple en Février 1908, en Avril 1916 pour les maxima, et en Août 1911 pour les minima, pour n'en citer que les plus remarquables, il y a tendance de groupement dans un seul mois à l'exclusion de tous les autres, de tous les maxima ou minima de l'année.

TABLE IV.

Fréquence des écarts extrêmes.

A) Écarts Maxima.

Année	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
1906	—	9	8	5	—	—	—	—	—	—	—	—
1907	2	7	10	2	—		—	—	1	—	1	1
1908	1	22	—	—	1		—	—		—	—	—
1909	—	13	1	7	—	—	1	—	—	—	—	2
1910	11	1	11	—	1	—	—	—	—	—	—	—
1911	6	17	—	—	—	—	—	1	—	—	—	—
1912	—	10	11	1	1		—	—	—	1	—	—
1913	—	6	2	—	—	—	—	—	—	—	—	16
1914	—	1	9	7	2	—	—		—	—	5	—
1915	10	4	3	2	—	2	—	—	—	—	—	—
1916	1	—	—	21	—	—	—	—	—	—	—	—
1917	5	4	7	2	3	1	—	—	—	—	—	8
1918	—	12	9	1	1	—	—	—	—	—	—	—
1919	1	1	11	2	3	—	—	—	—	—	—	4
1920	—	16	6	—	—	—	—	—	1	—	—	—
Somme . .	37	123	88	50	12	3	1	1	2	1	6	31
Pourcentage	10	35	25	14	4	1	0	0	1	0	1	9

B) Écarts Minima

1906	—	—	—	—	—	—	3	6	8	4	—	1
1907	—	—	—	—	—	11	3	2	4	2	1	1
1908	—	—	—	—	—	1	8	6	—	7	2	—
1909	—	—	—	—	—	—	7	6	5	3	3	—
1910	—	—	—	—	—	—	3	7	5	6	3	—
1911	—	—	—	1	—	—	2	16	1	4	—	—
1912	—	—	—	—	—	2	9	3	5	3	2	—
1913	—	—	—	—	—	10	2	6	6	—	—	—
1914	1	2	—	—	—	1	1	11	4	3	—	1
1915	—	—	—	—	—	—	10	5	1	3	2	—
1916	—	—	—	—	—	—	9	6	4	3	—	1
1917	—	—	—	1	—	—	6	7	1	5	2	—
1918	—	—	—	—	—	2	1	12	2	2	4	—
1919	—	1	—	—	1	1	9	1	3	4	—	1
1920	—	—	—	2	3	2	12	1	—	1	—	1
Somme . .	1	3	—	4	4	30	85	105	49	47	19	6
Pourcentage	0	1	0	1	1	8	24	30	14	13	6	2

J'ai indiqué dans l'introduction qu'il n'est pas rare de constater que de profondes dépressions sont suivies ou précédées de très près par des anticyclones d'une hauteur remarquable. Pour que des écarts extrêmes se groupent dans un seul mois, il faut qu'il y ait succession de ces météores extrêmes dans un laps de temps relativement court permettant le groupement de ces écarts extrêmes dans le cadre du mois. Ce phénomène est très net en hiver, c'est-à-dire pour les écarts maxima, car en cette saison de hauts anticyclones s'avancent de la péninsule balkanique vers le Sud et sont immédiatement suivis ou précédés par de véritables tempêtes cycloniques qui se forment de préférence sur le golfe de Gênes et qui se dirigent vers la Palestine et la Mésopotamie. Les systèmes anticycloniques s'avancent vers le Sud, deviennent la cause de la

formation de fortes vagues d'air froid qui pénètrent bien loin dans le Soudan et la zône tropicale jusqu'au delà de l'équateur *). De leur côté, les tempêtes cycloniques à leur passage à proximité de la côte Égyptienne causent beaucoup de ravages à la culture et occasionnent souvent la mort du bétail et de la population.

En été, les conditions atmosphériques s'inversent. Ce ne sont plus ni les anticyclones ni les dépressions de la Méditerranée qui causent les perturbations. En été le régime des moussons s'établit dans l'Océan Indien et au Soudan. Un système cyclonique étendu s'installe sur le golfe Persique. Sa position n'est pas toujours fixe. Son centre subit un certain balancement dans toutes les directions et c'est quand il avance vers l'ouest sur le continent Arabique qu'il refoule devant lui le système anticyclonique installé d'une manière permanente sur le Sahara Africain et dont l'intensité est faible en été. Ce mouvement de va-et-vient est la cause principale de la production des écarts d'été. Ainsi le groupement dans un seul mois de presque tous les petits écarts de l'année, en été, correspond nécessairement à un mouvement de va-et-vient minimum de ce centre cyclonique installé sur le golfe Persique. Dans d'autres occasions, toutefois plus rares, le retrait de ce système cyclonique à l'est de sa position habituelle produit l'expansion sur le Soudan et la Mer Rouge du système anticyclonique du Sahara et par suite, la cessation des conditions de mousson sur ces régions.

TABLE V.

Moyennes mensuelles des écarts de la pression atmosphérique en millimètres d'après les observations tri-quotidiennes.

Période 1906—1910 (5 ans).

STATIONS	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Année
Alexandrie .	16,0	16,1	16,3	15,1	10,0	7,7	6,5	6,0	7,7	6,7	10,4	12,3	10,9
Port Said .	15,9	15,8	16,3	15,2	10,4	8,2	7,3	6,5	7,8	6,7	10,5	11,0	11,0
Abbassia .	14,1	14,6	15,8	14,8	9,7	8,3	7,1	6,5	8,2	6,9	9,8	11,0	10,6
Giza . . .	14,1	14,5	15,9	14,2	10,2	7,8	6,9	6,3	8,2	6,5	9,6	11,3	10,5
Helwân . .	13,4	14,0	14,9	13,8	9,8	7,6	6,8	5,8	7,6	6,3	9,0	10,8	10,0
Suez . . .	13,1	12,6	14,1	12,0	9,2	7,6	6,5	5,9	7,3	5,3	8,6	10,2	9,4
Tor . . .	12,1	12,8	13,5	10,2	7,4	6,7	6,2	6,4	7,2	6,6	8,2	9,3	8,9
Qasr-el-Gebali .	14,5	13,7	14,3	12,4	11,1	7,2	6,3	6,0	7,6	7,1	9,6	10,6	10,0
Asyût . .	12,6	13,6	14,9	12,7	9,6	7,2	6,5	6,9	7,2	6,8	9,3	9,8	9,8
Dakhla . .	11,4	13,3	15,5	13,6	8,5	7,1	6,3	6,6	6,9	6,2	8,4	9,4	9,4
Aswân . .	8,6	12,2	11,1	8,9	7,1	6,5	5,8	4,8	5,8	5,1	5,2	6 2	7,3
Wadi-Halfa .	10,8	14,0	13,8	11,7	8,7	8,1	6,3	6,5	6,6	7,4	8,8	9,0	9,3
Merowe . .	10,6	12,5	12,1	10,0	7,2	6,5	6,1	6,3	5,8	6,8	7,6	8,6	8,3
Atbara . .	8,5	10,4	10,2	9,5	6,3	6,3	6,7	6,3	5,4	5,7	6,5	6,2	7,3
Kassala .	6,7	9,1	8,3	7,6	8,0	6,4	6,3	6,4	6,9	5,9	5,8	6,2	7,0
Khartoum .	8,9	10,4	9,9	8,0	6,7	6,5	6,2	6,5	6,0	5,9	7,0	7,1	7,4
Port Soudan	9,2	10,8	10,4	7,9	7,8	6,1	5,9	6,4	6,4	5,9	6,6	6,7	7,5
Gallabat . .	7,1	9,2	8,8	7,8	8,2	7,2	5,6	6,1	5,7	6,2	7,2	7,1	7,2
Roseires .	7,7	9,3	8,7	8,1	8,1	5,9	5,4	6,0	5,8	6,3	5,8	6,3	7,0
Wad Medani	8,7	10,5	9,3	8,4	7,3	6,9	6,6	5,4	5.8	5,7	6,0	7,1	7,3
Dueim . .	8,1	10,5	9,9	8,3	7,2	7,4	5,7	7,2	5,8	5,1	6,0	6,7	7,3
El Obeid .	8,5	9,5	9,4	7,8	6,2	6,1	6,3	5,6	5,5	5,7	6,7	7,2	7,0
Kodok . .	7,6	8,8	8,9	7,8	6,8	6,2	5,6	6,4	6,4	6,2	6,4	6,5	7,0
Mongalla .	8,1	8,9	7,5	7,3	7,1	6,3	5,4	5,3	7,1	6,0	6,3	7,0	6,9

*) Voir ouvrage précédemment cité (6), page 342.

TABLE VI

Moyennes mensuelles des écarts de la pression atmosphérique en millimètres d'après les observations tri-quotidiennes.

Période 1911—1915 (5 ans).

STATIONS	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Année
Alexandrie	13,6	18,3	15,0	13,4	11,8	8,0	7,1	6,2	6,4	6,9	11,2	14,2	11,0
Port Said	13,4	17,7	14,4	14,0	11,0	8,6	7,5	6,9	7,6	7,2	10,4	13,2	11,0
Abbassia	12,7	17,4	14,6	13,9	11,5	7,2	7,7	6,7	6,8	7,3	10,3	12,5	10,7
Gîza	12,6	17,6	14,4	13,9	11,1	7,1	7,3	6,5	7,0	7,1	10,1	12,4	10,6
Helwân	12,3	16,7	14,0	13,5	10,6	6,9	7,0	6,2	7,0	7,2	9,7	11,9	10,2
Suez	12,3	17,7	14,9	13,4	10,0	8,0	7,9	7,1	8,4	8,1	9,3	11,9	10,8
Tor	10,7	14,3	12,5	11,3	8,9	7,7	6,1	5,9	8,2	6,5	7,2	9,5	9,1
Qasr-el-Gebali	10,5	16,0	12,9	12,0	11,4	5,7	6,1	6,3	6,5	7,1	7,6	12,3	9,5
Asyût	11,6	15,0	13,5	12,8	8,9	7,3	5,8	7,1	7,7	6,9	9,3	10,7	9,7
Dakhla	10,8	13,4	12,3	12,5	11,6	6,4	5,7	5,5	6,3	7,1	7,4	9,7	9,1
Aswân	10,0	11,3	10,7	10,6	8,3	6,3	6,1	6,1	6,9	7,3	8,0	8,8	8,4
Wadi-Halfa	11,6	12,7	12,4	11,0	8,3	6,2	5,5	5,5	6,5	7,3	6,8	9,5	8,6
Merowe	10,9	11,8	10,0	9,5	8,2	6,7	6,2	6,6	5,9	7,6	6,8	8,3	8,2
Atbara	9,5	9,1	9,0	7,4	6,4	5,7	5,6	5,5	6,2	6,1	6,1	7,8	7,0
Kassala	8,4	8,5	8,4	7,1	6,6	6,8	5,5	5,5	6,0	6,5	5,8	6,8	6,8
Khartoum	9,1	9,4	8,9	7,3	6,8	6,6	6,0	6,6	6,1	6,0	5,6	7,6	7,2
Port Soudan	8,4	9,5	8,9	7,4	6,5	5,6	6,1	5,5	6,8	6,2	6,0	7,3	7,0
Gallabat	7,8	7,6	8,2	7,1	8,1	6,4	4,8	4,8	5,0	5,5	5,7	7,0	6,5
Roseires	7,7	7,6	9,3	7,3	6,8	6,7	5,8	5,7	5,9	6,6	5,8	7,3	6,9
Wad Medani	8,0	8,8	8,8	6,9	6,8	6,4	6,1	5,8	5,2	5,2	5,7	7,6	6,8
Dueim	8,5	8,6	8,6	8,0	7,9	6,9	6,7	6,4	7,1	6,9	5,8	7,4	7,4
El Obeid	8,7	9,2	8,6	7,3	6,5	6,6	5,6	5,5	5,9	6,2	6,1	7,4	7,0
Kodok	7,5	8,1	8,3	6,9	6,5	7,1	5,9	5,5	6,6	6,6	6,4	7,0	6,9
Mongalla	7,1	6,6	7,2	7,0	7,1	7,1	5,7	6,5	6,2	6,7	6,8	7,0	6,8

TABLE VII

Moyennes mensuelles des écarts de la pression atmosphérique en millimètres d'après les observations tri-quotidiennes.

Période 1916—1920 (5 ans).

STATIONS	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Année
Alexandrie	14,4	14,3	13,5	12,7	10,0	7,6	5,7	5,4	6,4	9,6	10,5	12,2	10,2
Port Said	13,4	13,5	12,6	13,0	11,2	8,6	6,0	5,8	6,7	8,2	10,2	11,0	10,0
Abbassia	12,8	13,2	12,8	11,9	10,8	8,0	6,4	5,5	6,9	7,6	9,5	10,4	9,6
Gîza	12,7	13,7	13,0	11,7	10,0	8,1	5,8	5,7	7,1	8,2	10,2	11,2	9,8
Helwân	10,3	13,0	12,6	11,7	10,0	7,6	5,7	5,7	6,9	8,1	9,7	10,8	9,3
Suez	12,6	13,0	12,7	12,6	9,8	8,4	6,5	6,5	7,5	8,6	10,1	10,3	9,9
Tor	11,1	11,4	10,8	10,2	8,2	7,6	5,5	6,1	7,4	6,8	9,3	9,4	8,6
Qasr-el-Gebali	11,3	12,2	13,2	10,3	12,1	8,4	6,1	5,7	6,7	7,6	9,5	10,2	9,4
Asyût	10,8	11,9	12,0	11,7	8,9	7,5	6,0	6,1	7,5	7,1	9,1	9,7	9,0
Dakhla	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Aswân	9,4	11,6	11,3	10,7	8,3	6,5	5,5	6,0	6,9	6,6	8,4	8,8	8,3
Wadi Halfa	9,3	11,6	11,7	10,3	8,4	7,1	5,7	6,1	6,7	6,1	8,4	9,4	8,4
Merowe	8,8	10,2	11,2	9,6	7,7	6,7	6,4	6,6	6,8	6,2	8,2	8,5	8,1
Atbara	8,3	9,8	9,8	8,8	7,5	6,8	7,1	7,0	6,8	5,9	7,8	7,6	7,8
Kassala	6,3	6,8	7,5	6,5	6,5	6,1	5,8	5,8	5,8	5,8	5,1	5,7	6,1
Khartoum	7,5	8,2	9,0	7,9	7,4	7,8	7,3	6,7	7,1	6,0	6,5	7,1	7,4
Port Soudan	7,3	8,4	9,3	7 2	7,3	6,6	5,6	5,9	6,7	6,6	6,5	7,3	7,0
Gallabat	6,5	7,9	7,7	8,2	7,1	7,7	5,4	5,7	5,8	5,4	5,7	5,7	6,6
Roseires	7,3	7,5	8,8	7,9	7,3	6,9	5,7	5,7	5,1	5,1	5,7	6,6	6,6
Wad Medani	7,3	9,1	9,2	8,2	7,5	7,2	6,1	6,2	7,5	6,1	7,2	7,9	7,4
Dueim	7,4	8,6	9,2	8,1	7,9	7,2	6,6	6,5	6,2	5,4	7,0	7,1	7,3
El Obeid	7,1	7,8	7,7	6,2	5,9	5,4	4,5	5,1	4,9	4,3	6,0	6,5	5,9
Kodok	7,2	7,5	7,4	7,3	6,9	5,9	5,7	6,4	6,0	6,1	6,0	6,7	6,6
Mongalla	6,5	7,1	7,4	6,7	5,8	5,9	5,1	6,5	6,5	7,1	6,8	8,0	6,6

TABLE VIII

Moyennes mensuelles des écarts de la pression atmosphérique en millimètres d'après les observations tri-quotidiennes.

Période totale 1906—1920 (15 ans).

STATIONS	Janvier	Fevrier	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Sept.	Octobre	Nov.	Déc.	Année
Alexandrie .	14,7	16,2	15,0	13,7	10,6	7,8	6,4	5,9	6,8	7,4	10,7	12,9	10,7
Port Said .	14,2	15,7	14,4	14,1	10,7	8,5	6,9	6,4	7,4	7,4	10,4	11,7	10,6
Abbassia .	13,2	15,1	14,4	13,5	10,7	7,8	7,1	6,2	7,3	7,3	9,9	11,3	10,3
Gîza . . .	13,1	15,3	14,4	13,3	10,4	7,7	6,7	6,2	7,4	7,3	10,0	11,6	10,3
Helwân . .	12,0	14,6	13,8	13,0	10,1	7,4	6,5	5,9	7,2	7,2	9,5	11,2	9,9
Suez . . .	12,7	14,4	13,9	12,7	9,7	8,0	7,0	6,5	7,7	7,3	9,3	10,8	10,0
Tor . . .	11,3	12,8	12,3	10,6	8,2	7,3	5,9	6,1	7,6	6,6	8,2	9,4	8,9
Qasr-el-Gebali .	12,1	14,0	13,5	11,2	10,7	7,1	6,2	6,0	6,9	7,3	8,9	11,0	9,6
Asyût. . .	11,7	13,5	13,5	12,4	9,1	7,3	6,1	6,7	7,5	6,9	9,2	10,1	9,5
Dakhla . .	11,2	13,3	14,1	13,1	9,6	6,9	6,1	6,2	6,7	6,5	8,0	6,7	9,0
Aswân . .	9,3	11,7	11,0	10,2	7,9	6,4	5,8	5,6	6,5	6,3	7,2	7,9	8,0
Wadi-Halfa.	10,6	12,8	12,6	11,0	8,5	7,1	5,8	6,0	6,6	6,9	8,0	9,3	8,8
Merowe . .	10,1	11,5	11,1	9,7	7,7	6,6	6,2	6,5	6,2	6,9	7,5	8,5	8,2
Atbara . .	8,4	9,8	9,7	8,6	6,7	6,3	6,5	6,3	6,1	5,9	6,8	7,2	7,4
Kassala . .	6,8	8,1	8,1	7,1	7,0	6,4	5,9	5,9	6,2	6,1	5,6	6,2	6,6
Khartoum .	8,5	9,3	9,3	7,7	7,0	7,0	6,5	6,6	6,4	6,0	6,4	7,3	7,3
Port Soudan	8,3	9,6	9,5	7,5	7,2	6,1	5,9	5,9	6,6	6,2	6,4	7,1	7,2
Gallabat. .	7,1	7,9	8,2	7,7	7,8	7,1	5,3	5,5	5,5	5,7	6,2	6,6	6,7
Roseires. .	7,6	8,1	8,9	7,8	7,4	6,9	5,6	5,8	5,6	6,0	5,8	6,7	6,8
Wad Medani	8,0	9,5	9,1	7,8	7,2	6,8	6,3	5,8	6,2	5,7	6.3	7,5	7,2
Dueim . .	8,0	9,2	9,2	8,1	7,7	7,2	6,3	6,7	6,3	5,8	6,3	7,1	7,3
El Obeid .	8,1	8,8	8,6	7,1	6,2	6,0	5,5	5,4	5,4	5,4	6,3	7,0	6,6
Kodok . .	7,4	8,1	8,2	7,3	6,7	6,4	5,7	6,1	6,3	6,3	6,3	6,7	6,9
Mongalla .	7,2	7,5	7,4	7,0	6,7	6,4	5,4	6,1	6,6	6,6	6,6	7,3	6,7

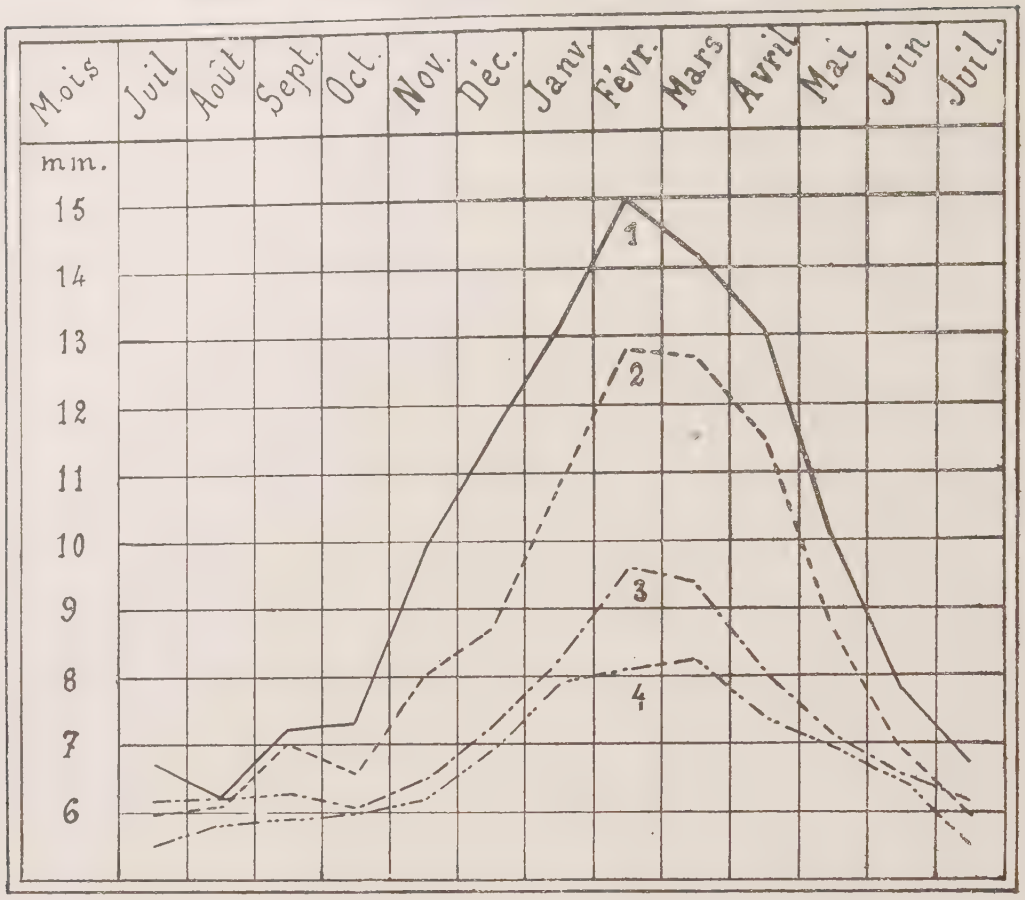
2. Moyennes mensuelles des écarts de pression et variation de ces moyennes.

Conformément aux indications de la Commission Météorologique Internationale concernant la publication des valeurs normales par périodes de cinq ans, j'ai groupé les écarts en trois tableaux dont le premier se rapporte à la période (1906—1910); le deuxième à la période (1911—1915); et le troisième, tableau VII, à la période (1916—1920). Les moyennes générales pour toute la période de quinze ans (1906—1920) sont données par le tableau VIII. Les résultats de ce tableau sont placés sous forme de diagramme sur la figure 5 et sont disposés par districts suivant le tableau ci-dessous en millimètres:

Districts Latitudes Nord Nombre des Stations	Janv.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Année
Basse-Égypte 31°—29° (7 stations)	13,1	15,0	14,2	13,1	10,0	7,8	6,7	6,2	7,2	7,3	9,8	11,5	10,6
Haute-Égypte 28°—20° (5 stations)	10,8	12,8	12,7	11,5	8,7	7,0	6,0	6,1	7,0	6.6	8,0	8.7	8,8
Moitié Nord du Soudan 19°—14° (7 stations)	8,3	9,6	9,4	8,1	7,2	6,6	6,2	6,2	6.3	6,1	6,5	7,3	7,3
Moitié Sud du Soudan 13°—5° (5 stations)	7,9	8,1	8,3	7,4	7,0	6,5	5,5	5,8	5,9	6,0	6,2	6,9	6,8

*) Dans tout cet article le mot „variation" est employé toutes les fois qu'on veut exprimer la marche des écarts d'un mois à l'autre ou d'une année à l'autre, tandis que le terme „variabilité" est employé quand il s'agit des valeurs résultant du calcul des écarts types ou coefficients de variabilité absolue.

Fig. 5. — Variation saisonnière des écarts par districts.



1. District de la Basse-Égypte.
2. » Haute-Égypte.
3. District de la moitié Nord du Soudan.
4. » » Sud du Soudan.

Ce diagramme montre que dans toute l'Égypte ainsi que dans l'extrême sud Soudanais les plus forts écarts sont observés pendant les mois d'hiver et les plus faibles pendant les mois d'été. L'ascension est régulière d'Octobre en Février-Mars, puis la descente se produit jusqu'en Août pour les stations Égyptiennes et jusqu'en Juillet pour celles du Soudan. En moyenne pour l'année la valeur des écarts diminue au fur et à mesure qu'on s'avance vers le sud. Mais cette diminution n'est pas uniforme. Si elle était fonction de la latitude seule, on devrait avoir des courbes parallèles, ne variant que d'une quantité constante au cours de l'année et qui serait différente pour chaque district. On observe toutefois que ces courbes sont *très écartées* les unes des autres en hiver et *très rapprochées* en été. Il y a donc un autre phénomène qui intervient, et qui est précisément celui que j'ai signalé dans l'introduction et qui est relatif à la position particulière qu'occupent l'Égypte et le Soudan dans la circulation générale de l'atmosphère. En hiver la partie de l'Égypte qui se trouve engagée directement dans la zône des vents variables se dirigeant vers le pôle subit de la part des nombreuses dépressions et des anticyclones qui s'y aventurent des perturbations beaucoup plus grandes que le reste de la contrée, c'est-à-dire du Soudan, qui n'est agité que par influence, puisqu'il ne quitte pas la zône des alizés réguliers vers l'équateur. J'ai déjà mentionné que la limite polaire du courant qui se dirige vers l'équateur — l'alizé — varie sur l'*Atlantique* depuis 35° latitude Nord en Septembre, jusqu'à 26° latitude nord en Mars. En Égypte il existe 9 stations *) dont la latitude est supérieure à 26°. A celles-ci, j'ai adjoint trois autres marginales (Dakhla, Aswân, Wadi-Halfa) et j'ai formé les deux premiers districts du tableau précédent dont les valeurs en hiver s'écartent précisément le plus de celles des autres deux districts qui ne quittent jamais la zône des alizés. La contrée en hiver se trouve donc sous deux

*) Voir table des coordonnées, page 13.

régimes différents: une partie sous des vents variables allant vers le pôle, et l'autre sous des vents réguliers allant vers l'équateur. C'est grâce à ces conditions atmosphériques que la ville d'Aswân (24° latitude Nord), de par sa position plutôt marginale, occupe si l'on peut dire un point neutre et jouit quant à la régularité surprenante de son climat d'une réputation mondiale. Elle n'est ni affectée par les dépressions qui traversent la Méditerranée ni influencée par le régime des moussons qui soufflent sur le Soudan. En été, la contrée entière se trouve incluse dans la zône des alizés, d'où rapprochement des diverses valeurs d'écarts pour tous les districts, puisque c'est le même régime qui régit toute cette partie de la Terre. Pour faire mieux ressortir ces différences, j'ai groupé d'après le tableau VIII, d'une part, tous les écarts mensuels pour les stations de latitude supérieure à 26° et d'autre part, ceux de latitude inférieure à 26°. Le premier groupement représente la partie de la contrée qui tour à tour pénètre et quitte la zône des vents variables et le second la partie qui reste continuellement dans la zône des alizés. Les résultats et les différences sont les suivants en millimètres:

	Janvier	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
Groupement des stations de latitude supér. à 26° . .	12,8	14,6	13,9	12,7	10,1	7,8	6,5	6,2	7,3	7,4	9,6	11,1
Groupement des stations de latitude infér. à 26° . .	8,2	9,4	9,3	8,2	7,3	6,6	5,9	6,0	6,2	6,1	6,6	7,3
Différences	4,6	5,2	4,6	4,5	2,8	1,2	0,6	0,2	1,1	1,3	3,0	3,8

Ce tableau montre la grande différence qui existe entre les écarts moyens enregistrés dans ces deux régions pendant les mois d'hiver et le rapprochement de ces écarts pendant les mois d'été.

Ainsi la variation en latitude de la limite séparant les deux régimes sur l'Atlantique paraît être la même sur cette partie du Globe. Il y a pourtant à observer un certain décalage en ce qui concerne les mois où l'étendue vers le nord du régime alizé est maximum ou minimum : respectivement Novembre et Mai.

Il me reste à signaler une certaine irrégularité dans l'allure des courbes de la figure 5, et qui a été un peu masquée par les moyennes, concernant les écarts observés pour le mois de Septembre. Les courbes individuelles présentent une certaine bosse en Septembre pour les stations de la Basse- et la Haute-Égypte par rapport au mouvement général du tracé. J'étudierai en détail ce phénomène dans un des chapitres suivants.

TABLE IX.

Moyennes annuelles des écarts de pression en millimètres.

Stations	1906	1907	1908	1909	1910	1911	1912	1913	1914	1915	1916	1917	1918	1919	1920	Moyenne
Alexandrie .	11,2	11,3	11,2	10,2	10,6	11,0	10,5	10,3	11,2	12,0	9,8	11,0	10,7	10,3	9,3	10,7
Port Saïd . .	11,1	11,1	11,0	10,0	11,1	11,1	10,3	10,3	11,6	11,5	9,9	10,4	10,6	10,4	9,1	10,6
Abbassia . .	11,0	11,2	10,4	10,0	10,2	10,8	10,5	9,7	10,9	11,6	9,6	10,1	10,2	9,8	8,4	10,3
Giza	10,8	10,8	10,2	9,9	10,5	10,6	10,3	9,7	10,8	11,6	9,2	10,0	10,5	10,0	8,9	10,2
Helwân . . .	10,5	10,4	9,8	9,2	10,0	10,1	9,8	9,4	10,7	11,3	9,3	9,7	10,1	9,8	8,6	9,9
Suez	8,9	8,8	9,6	8,2	11,2	10,5	10,6	9,9	10,6	12,1	10,1	9,7	10,6	10,1	8,7	10,0
Tor	—	9,2	8,9	8,4	9,0	9,1	8,2	8,5	10,0	9,5	8,8	8,2	9,4	8,6	8,9	8,9
Qasr-el-Gebali	—	—	10,2	9,4	10,8	10,1	9,7	8,8	9,5	—	—	9,6	10,0	9,5	8,5	9,6
Asyût	9,9	9,5	9,6	10,4	9,5	9,2	9,1	9,2	10,4	10,6	9,1	8,8	9,5	9,2	8,5	9,5
Dakhla . . .	10,3	10,2	8,9	8,7	8,9	9,4	9,3	8,5	—	—	—	—	—	—]	—	9,3
Aswân . . .	7,7	7,0	8,1	6,8	6,7	8,4	8,1	8,0	8,7	8,6	8,3	8,3	8,9	8,5	7,7	8,0
Wadi-Halfa .	10,5	10,2	9,6	8,3	7,9	8,5	8,3	8,4	9,3	8,5	8,4	7,6	9,1	8,6	8,3	8,8
Merowe . . .	9,3	8,4	8,2	8,3	7,7	8,7	8,3	8,4	7,9	7,7	8,1	7,7	8,3	8,3	8,1	8,2
Atbara . . .	8,1	7,8	7,5	7,3	5,9	7,3	6,9	7,1	7,0	6,9	7,8	7,2	7,7	8,2	7,9	7,4
Kassala . . .	6,9	6,8	7,6	6,8	6,8	7,4	6,0	7,0	6,8	6,8	7,0	5,8	5,7	5,8	6,2	6,6
Khartoum .	8,0	7,3	7,4	7,4	7,0	7,3	6,9	7,6	7,1	7,0	7,4	7,0	7,0	—	7,2	7,3
Port-Soudan.	8,2	7,4	7,5	7,0	7,5	7,6	7,0	7,3	6,9	6,1	7,8	6,7	7,9	5,8	6,9	7,2
Gallabat. . .	7,0	6,0	7,3	7,2	7,8	6,9	5,9	6,6	—	—	6,7	6,7	5,8	—]	7,0	6,7
Roseires . .	7,1	7,0	6,7	7,3	6,5	6,0	6,5	7,8	6,9	7,1	6,6	6,8	6,8	6,5	6,6	6,8
Wad Medani	8,1	7,3	7,5	7,3	6,4	6,4	6,0	7,2	7,6	6,7	7,6	7,3	7,5	7,2	7,6	7,2
Dueim. . . .	8,0	7,4	7,2	7,3	6,9	7,1	7,4	7,6	7,3	7,6	7,1	7,0	7,3	7,8	7,3	7,4
El Obeid . .	7,6	7,5	6,5	6,7	6,8	7,4	6,3	7,2	7,2	6,9	6,7	6,2	6,0	5,6	5,5	6,7
Kodok . . .	7,1	7,3	6,7	6,8	7,0	6,9	6,5	7,2	6,7	6,8	6,2	6,8	6,3	6,7	7,0	6,8
Mongalla . .	8,0	7,9	6,2	6,3	5,8	6,3	6,4	7,1	7,1	7,0	7,0	5,6	8,2	5,8	7,2	6,8

3. Moyennes annuelles des écarts de pression et variation de ces moyennes d'année en année.

Le tableau IX donne les écarts annuels moyens pour la période 1906—1920. En groupant les observations par districts, comme il a été fait plus haut, on obtient les résultats suivants en millimètres:

	1906	1907	1908	1909	1910	1911	1912	1913	1914	1915	1916	1917	1918	1919	1920	Moyenne
Basse-Égypte .	10,6	10,6	10,3	9,6	10,6	10,6	10,2	9,7	10,8	11,7	9,6	10,1	10,4	10,0	8,8	10,2
Haute-Égypte .	9,6	9,2	9,0	8,5	8,4	8,9	8,6	8,5	9,6	9,3	8,6	8,2	9,2	8,7	8,4	8,9
Moitié Nord du Soudan . .	8,1	7,5	7,6	7,3	6,9	7,4	6,9	7,5	7,2	7,0	7,6	7,0	7,3	7,2	7,3	7,3
Moitié Sud du Soudan . .	7,4	7,1	6,7	6,9	6,8	6,7	6,3	7,2	7,0	7,0	6,6	6,4	6,6	6,2	6,7	6,8

On voit, d'après ce tableau, que les écarts moyens groupés par districts varient relativement peu d'année en année. Pour le district de la Basse-Égypte, celui qui pénètre le plus profondément dans la zône des vents variables, on constate un écart exceptionnellement élevé en 1915 (11,7 mm.) et un écart pareillement faible en 1920 (8,8 mm.). Les différences de ces deux valeurs, par rapport à la normale de quinze ans, sont respectivement + 1,5 et — 1,4. Ces différences ne sont pas très grandes et les années, auxquelles elles se rapportent, doivent correspondre au passage d'un nombre de dépressions très supérieur ou très inférieur au nombre normal.

J'ai déjà parlé de l'objection possible relative à l'insuffisance d'une méthode qui consiste à traiter sur des observations individuelles. Si cette insuffisance était réelle et si d'autres causes perturbatrices intervenaient, et qui justement s'éliminaient par la prise des moyennes, il est incontestable que les chiffres donnés par cette présente méthode de calcul, auraient été totalement illusoires et nullement comparables. Il me semble donc que la concordance des valeurs d'année en année est un bon argument pour réfuter ces objections.

CHAPITRE III

1. Variabilité saisonnière des écarts de pression atmosphérique.

Pour étudier la variabilité saisonnière des écarts de pression atmosphérique d'année en année, j'ai calculé les écarts types ou coefficients de variabilité absolue d'après les différences entre chaque écart mensuel et la moyenne annuelle des écarts. Dans le cas actuel, où l'allure des courbes est presque sinusoïdale, on aurait pu prendre l'amplitude comme mesure de la variation saisonnière. Mais, dans leur progression, les courbes présentent certaines sinuosités, comme par exemple les anomalies du mois de Septembre, qui ne peuvent naturellement pas figurer dans la valeur de l'amplitude. Il aurait donc fallu aplanir les courbes en appliquant l'analyse harmonique. Le calcul des coefficients de variabilité absolue est un moyen rapide qui donne une mesure de cette amplitude, en tenant compte de toutes les irrégularités de chaque courbe. Les résultats sont donnés dans le tableau X pour seize stations choisies dans le réseau Égyptien. Cette réduction du nombre de stations à seize était nécessaire, vu la longueur des calculs à effectuer. On constate par ce tableau qu'en moyenne la variabilité saisonnière des écarts décroît au fur et à mesure qu'on s'éloigne du littoral méditerranéen vers le Sud. Cette constatation aurait pu être faite *qualitativement* sur la figure 5 de la page 22, donnant pour chaque district les valeurs moyennes de la période 1906—1920. Mais une mesure plus précise était nécessaire, et

cette mesure est donnée *quantitativement* par le calcul des coefficients de variabilité absolue. Ainsi on pourra comparer les variations de ces coefficients absolus aux variations des autres éléments météorologiques.

Si l'on rapproche les chiffres du tableau X des conclusions déjà exposées plus haut, on a la confirmation de l'idée qui ressort des considérations précédentes, que pour les stations de latitude supérieure à 26° latitude nord, la variabilité saisonnière est grande, tandis que pour celles de latitude inférieure à 26° latitude Nord elle est relativement petite. Les valeurs extrêmes observées sont 5,4 mm. à Alexandrie en 1915 et 0,6 mm. à Mongalla, station extrême sud, pour la même année : soit une différence de 4,8 mm.

TABLE X

Variabilité saisonnière des écarts en millimètres.

Période 1906—1920.

STATIONS	1906	1907	1908	1909	1910	1911	1912	1913	1914	1915	1916	1917	1918	1919	1920	Moyenne
Alexandrie .	4,8	4,9	4,2	3,5	5,1	4,8	3,8	4,5	3,4	5,4	4,3	3,8	4,1	3,4	3,2	4,2
Gîza. . . .	4,1	3,8	3,5	3,3	4,4	4,4	3,7	3,6	3,1	4,7	3,4	3,1	3,4	3,2	3,0	3,6
Helwân. . .	3,8	3,5	3,4	3,2	4,1	4,1	3,6	3,2	3,0	4,4	3,4	2,5	3,2	3,1	2,7	3,4
Asyût . . .	4,0	3,1	3,0	3,1	3,8	3,6	2,9	2,8	3,7	3,6	3,2	2,0	2,6	2,6	2,4	3,1
Aswân . . .	3,7	2,8	3,4	1,9	1,6	3,1	1,8	1,8	2,7	2,2	2,2	1,9	2,5	2,5	2,7	2,4
Wadi-Halfa .	3,6	3,2	3,0	2,1	2,0	4,3	1,9	2,6	3,2	2,7	2,2	2,0	2,6	2,5	2,6	2,7
Merowe . .	3,3	2,6	2,4	2,1	2,3	3,1	1,9	2,0	2,1	2,1	1,8	1,5	2,0	2,2	2,0	2,2
Atbara . .	2,4	2,8	2,1	1,8	1,6	1,9	1,3	2,0	1,5	1,5	1,2	1,2	1,6	1,8	2,1	1,8
Kassala. .	1,4	1,1	1,9	1,2	1,2	1,4	1,1	1,4	1,2	1,1	1,0	1,2	0,9	1,2	1,1	1,3
Khartoum . .	2,4	1,7	2,0	1,3	1,5	2,2	1,1	1,4	1,5	1,5	1,3	0,9	1,2	—	1,4	1,5
Port Soudan .	2,5	1,9	2,0	1,8	2,4	2,0	1,2	1,3	1,8	1,5	1,6	0,9	1,5	1,5	1,8	1,7
Gallabat .	1,6	1,0	2,0	1,3	0,9	2,1	0,8	1,2	—	—	1,3	1,2	1,1	—	1,6	1,4
Roseires . .	2,0	2,7	1,6	1,1	1,9	1,1	1,3	1,9	1,5	0,9	1,2	1,2	1,0	1,8	1,6	1,5
El Obeid . .	2,2	2,0	1,8	1,1	1,3	2,0	1,1	1,7	1,4	1,3	1,2	1,6	1,2	1,6	2,0	1,6
Kodok . .	1,4	1,2	1,4	1,0	2,4	1,1	1,2	1,2	1,0	0,9	0,8	1,4	0,8	1,1	1,1	1,2
Mongalla . .	1,7	2,2	1,8	0,9	1,1	0,8	1,1	1,3	0,8	0,6	0,9	0,9	1,1	1,2	1,2	1,1

Selon la méthode adoptée plus haut, j'ai groupé par districts les valeurs de ces coefficients. Mais le nombre de stations choisies étant moindre, je les ai distribuées dans l'ordre suivant :

Basse-Égypte	Alexandrie Gîza Helwân	Haute-Égypte	Asyût Aswân Wadi-Halfa
Moitié Nord du Soudan	Merowe Atbara Kassala Khartoum Port Soudan	Moitié Sud du Soudan	Gallabat Roseires El Obeid Kodok Mongalla

	1906	1907	1908	1909	1910	1911	1912	1913	1914	1915	1916	1917	1918	1919	1920	Moyenne
Basse-Égypte	4,2	4,1	3,7	3,3	4,5	4,4	3,7	3,8	3,2	4,8	3,7	3,1	3,6	3,2	3,0	3,8
Haute-Égypte	3,8	3,0	3,1	2,4	2,5	3,7	2,2	2,4	3,2	2,8	2,5	2,0	2,6	2,5	2,6	2,7
Moitié Nord du Soudan . .	2,4	2,0	2,1	1,6	1,8	2,1	1,3	1,6	1,6	1,5	1,4	1,1	1,4	1,7	1,7	1,7
Moitié Sud du Soudan . .	1,8	1,8	1,7	1,1	1,5	1,4	1,1	1,5	1,2	0,9	1,1	1,3	1,0	1,4	1,5	1,4

Si l'on examine, dans le tableau X, la variation *) de la valeur des coefficients d'année en année, on trouve que cette variation est appréciable pour les stations de latitude supérieure à 26° nord. A Alexandrie, par exemple, elle est de l'ordre de 2,2 mm. pour cette période de quinze ans. Pour les stations de latitude inférieure à 26° nord elle est faible. A El-Obeid, par exemple, elle n'atteint que 1,1 mm. **).

2. Variabilité périodique mensuelle des écarts de pression atmosphérique.

Dans cette partie j'ai comparé chacun des mois de l'année, janvier par exemple, de la période de dix ans 1906-1915 à la moyenne de tous ces mêmes janviers de cette période, et j'ai établi comme précédemment pour le dit mois le coefficient de variabilité absolue qui se rapporte ici à la période de 10 ans et que j'appelle pour cela, par opposition à la variabilité saisonnière, «*variabilité périodique mensuelle*». J'ai procédé de même pour tous les mois de l'année et pour les seize stations choisies pour l'étude de la variabilité saisonnière. Cette méthode représente ainsi, pour un même mois, la variation de l'écart au cours de plusieurs années successives (dans le cas actuel pour la période de 10 ans, 1906—1915). En groupant les mois par saisons et en prenant simplement la somme des coefficients pour ces mois, on obtient une répartition de cette variabilité par saisons. On opère de même pour l'année. Ainsi se trouve éliminée la variation saisonnière. Les coefficients trouvés sont donnés pour chaque mois et chaque station dans le tableau XI.

TABLE XI

Variabilité périodique mensuelle des écarts en millimètres pour la période 1906—1915.

STATIONS	Janv.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Total Été	Total Hiver	Total Général
Alexandrie .	3,4	3,3	3,3	3,7	1,5	2,3	1,0	1,0	0,9	1,1	2,9	2,6	7,8	19,2	27,0
Gîza . . .	2,9	3,3	2,3	3,2	1,0	1,8	0,8	0,8	0,9	0,9	2,5	1,8	6,2	16,0	22,2
Helwân . .	2,6	2,9	2,1	2,9	1,1	1,7	0,9	0,8	0,8	0,8	2,3	1,9	6,1	14,7	20,8
Asyût . . .	2,3	2,6	2,1	2,3	1,9	1,3	0,9	1,7	0,8	0,7	3,0	1,8	7,3	14,1	21,4
Aswân. . .	1,7	2,6	2,0	2,5	1,1	0,9	1,4	1,0	1,3	1,5	1,9	2,4	7,2	13,1	20,3
Wadi-Halfa .	1,8	2,3	2,2	2,2	0,8	1,3	0,9	1,1	0,6	1,6	1,9	1,7	6,3	12,1	18,4
Merowe . .	1,5	2,0	2,0	2,1	0,9	0,7	0,7	0,6	0,6	1,6	1,0	1,8	5,1	10,4	15,5
Atbara. . .	1,3	1,9	1,1	2,5	0,7	0,9	1,5	1,0	1,2	0,5	0,9	1,6	5,9	9,3	15,2
Kassala . .	1,4	1,3	0,7	1,0	1,7	0,6	0,8	0,6	1,2	0,5	0,9	1,0	5,4	6,3	11,7
Khartoum. .	1,3	1,5	1,6	1,4	0,4	0,7	0,6	0,9	0,6	0,7	1,0	1,4	3,9	8,2	12,1
Port Soudan .	1,3	1,8	1,9	1,1	1,1	1,0	1,1	1,7	1,1	0,9	1,2	1,2	6,9	8,5	15,4
Gallabat . .	1,4	1,5	1,0	1,2	1,5	1,6	1,4	0,7	0,6	1,1	1,0	0,8	6,9	6,9	13,8
Roseires . .	1,2	1,4	1,4	0,8	0,9	0,8	0,8	0,8	0,7	1,0	1,1	2,1	5,0	8,0	13,0
El Obeid . .	1,3	1,5	1,4	1,4	0,5	0,8	1,6	0,8	0,5	0,6	0,8	1,2	4,8	7,6	12,4
Kodok. . .	0,8	1,2	1,9	0,8	0,6	1,2	1,0	0,8	0,8	0,7	0,8	1,1	5,1	6,6	11,7
Mongalla . .	1,2	1,9	1,3	1,5	1,0	0,9	1,2	1,1	2,3	0,6	1,0	1,4	7,1	8,3	15,4

La plus grande variabilité périodique fut de 3,7 mm. en Avril à Alexandrie. En effet, d'après mon expérience de l'étude du climat Égyptien, le mois d'Avril est le plus agité de l'année pour le district de la Basse-Égypte par suite de l'arrivée continue de dépressions atmosphériques de la région méditerranéenne ou du Sahara Africain causant de fortes vagues de chaleur connues sous le nom de « *khamsin* ». Le nombre et la profondeur des dépressions sont naturellement très variables d'année en année ce qui explique le grand coefficient de variabilité périodique trouvé pour le mois d'Avril. La plus faible variabilité périodique observée fut de 0,4 mm. à Khartoum en Mai.

*) Sur le sens des mots variation et variabilité voir la remarque au bas de la page 21.

**) Il eût été intéressant, si les observations avaient été à ma disposition, de rapprocher la variation de ces coefficients de la variation du nombre total des dépressions qui ont pénétré dans le bassin Est méditerranéen.

Passons maintenant à la variabilité totale de l'année, à celle de la saison d'été (Mai-Octobre) et à celle de la saison d'hiver (Novembre-Avril). A Alexandrie la variabilité totale de l'année est de 27,0 mm. dont 19,2 pour l'hiver et 7,8 pour l'été. Ces chiffres représentent les coefficients les plus élevés de tout le réseau Égyptien. A Kodok et Kassala la variabilité totale est la plus faible et est représentée par 11,7 mm., dont à Kodok 6,6 pour l'hiver et 5,1 pour l'été. Comme la variation de l'amplitude des écarts, pendant les mois d'hiver, dépend de la variation du nombre et de l'intensité des cyclones et anticyclones qui traversent la zône des vents variables, on doit s'attendre pour la région de l'Égypte qui y pénètre, à une forte variabilité totale pendant la période hivernale. Par contre, pendant les mois d'été, quand cette contrée est entièrement incluse dans la zône des vents réguliers, on peut s'attendre à trouver une faible valeur de la variabilité totale pour la période estivale. Ces hypothèses sont confirmées par les chiffres. Le tableau suivant donne la différence entre la variabilité totale pour les six mois d'hiver et celle pour les six mois d'été.

	mm.		mm.
Alexandrie	11,4	Khartoum	4,3
Gîza	9,8	Port Soudan	1,6
Helwân	8,6	Kassala	0,9
Asyût	6,8	Gallabat	0,0
Aswân	5,9	Roseires	3,0
Wadi-Halfa	5,8	El Obeid	2,8
Merowe	5,4	Kodok	1,5
Atbara	3,4	Mongalla	1,2

Ces différences sont grandes pour les stations de latitude supérieure à 26° nord et faibles pour les stations de latitude inférieure à 26° nord. A Alexandrie cette différence atteint le chiffre de 11,4 mm. alors qu'à Gallabat elle est nulle.

Reportées sur une carte, ces différences montrent une décroissance régulière depuis le littoral Égyptien jusqu'au Soudan et l'Abyssinie. Si l'on pouvait calculer, pour un grand nombre de stations et d'années sur le globe terrestre, les coefficients de variabilité périodique mensuelle des écarts de pression, depuis l'équateur jusqu'au pôle et tracer sur une carte des lignes d'égale variabilité périodique, on pourrait avoir une représentation fidèle de la *délimitation des diverses zônes atmosphériques pour chaque mois de l'année ainsi que le mouvement de ces zônes*.

D'après l'application que je viens de faire de ces idées, il semble bien que ces coefficients pourraient servir à indiquer l'état de trouble plus ou moins grand provenant des variations plus ou moins fréquentes ou rapides dans la succession des systèmes cycloniques et anticycloniques dans une région quelconque et qu'on peut difficilement détecter autrement.

CHAPITRE IV

Variabilité périodique annuelle des écarts de pression atmosphérique.

D'après les données du tableau IX, contenant pour la période 1906—1920 les moyennes annuelles des écarts de pression, et d'après d'autres observations antérieures pour quelques stations à longue période, le tableau XII a été dressé pour donner les différences entre les moyennes annuelles et la normale de 19 ans. Ces chiffres représentent les « *anomalies* » des écarts.

TABLE XII

Anomalies des écarts de pression atmosphérique en millimètres pour la période de 19 ans 1902—1920.

STATIONS	1902	1903	1904	1905	1906	1907	1908	1909	1910	1911	1912	1913	1914	1915	1916	1917	1918	1919	1920
Alexandrie . . .	+0,2	—0,1	+0,2	+0,3	+0,4	+0,5	+0,4	—0,6	—0,2	+0,2	—0,3	—0,5	+0,4	+1,2	—1,0	+0,2	—0,1	—0,5	—1,5
Port Said	+0,6	0,0	+0,3	+0,1	+0,4	+0,4	+0,3	—0,7	+0,4	+0,4	—0,4	—0,4	+0,9	+0,8	—0,8	—0,3	—0,1	—0,3	—1,6
Abbassia	+0,6	—0,2	—	+0,6	+0,6	+0,8	0,0	—0,4	—0,2	+0,4	+0,1	—0,7	+0,5	+1,2	—0,8	—0,3	—0,2	—0,6	—2,0
Gîza	+0,9	—0,3	+0,6	+0,2	+0,5	+0,5	—0,1	—0,4	+0,2	+0,3	0,0	—0,6	+0,5	+1,3	—1,1	—0,3	+0,2	—0,3	—1,4
Asyût	+1,6	+0,8	—0,1	—0,7	+0,3	—0,1	0,0	+0,8	—0,1	—0,4	—0,5	—0,4	+0,8	+1,0	—0,5	—0,8	—0,1	—0,4	—1,1
Aswân	+1,1	—0,2	+1,3	—0,3	—0,4	—1,1	0,0	—1,3	—1,4	+0,3	0,0	—0,1	+0,6	+0,5	+0,2	—0,2	+0,8	+0,4	—0,4
Wadi-Halfa. . . .	+0,6	—0,1	+0,6	—0,4	+1,7	+1,4	+0,8	—0,5	—0,9	—0,3	—0,5	—0,4	+0,5	—0,3	—0,4	—1,2	+0,3	—0,2	—0,5
Atbara	—	—0,7	—0,2	+0,1	+0,8	+0,5	+0,2	0,0	—1,4	0,0	—0,4	—0,2	—0,3	—0,4	+0,5	—0,1	+0,4	+0,9	+0,6
Khartoum	+0,4	0,0	+0,4	+0,7	+0,6	—0,1	0,0	0,0	—0,4	—0,1	—0,5	+0,2	—0,3	—0,4	0,0	—0,4	—0,4	—	—0,2
Port Soudan . . .	—	—	—	—	+1,0	+0,2	+0,3	—0,2	+0,3	+0,4	—0,2	+0,1	—0,3	—1,1	+0,6	—0,5	+0,7	—1,4	—0,3
Wad Medani . . .	+0,4	—0,9	+0,6	+0,1	+0,9	+0,1	+0,3	+0,1	—0,8	—0,8	—1,2	0,0	+0,4	—0,5	+0,4	+0,1	+0,3	0,0	+0,4
Dueim	+1,0	+0,2	—0,1	+0,2	+0,6	0,0	—0,2	—0,1	—0,5	—0,3	0,0	+0,2	—0,1	+0,2	—0,3	—0,4	—0,1	+0,4	—0,1

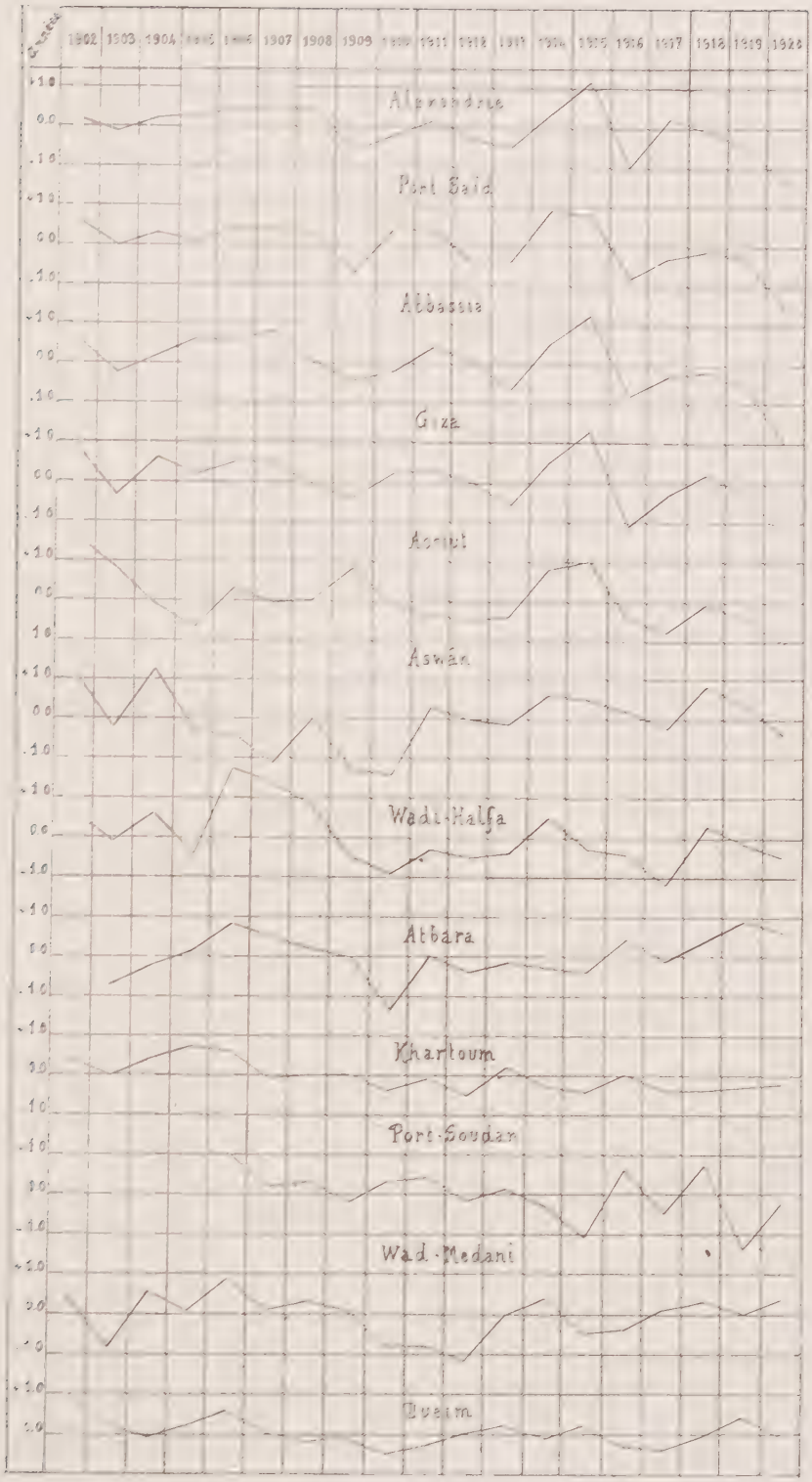


Fig. 6. — Anomalies des moyennes annuelles des écarts de pression atmosphérique en millimètres.

Pour mieux représenter la marche de ces anomalies, les chiffres donnés par le tableau XII ont été portés sur un graphique et forment un ensemble de variations donné par la figure 6. L'examen de ces courbes révèle certaines particularités.

a) **Période 1902–1910.**

Si je considère la première moitié jusqu'à 1910 de tous ces tracés, depuis Alexandrie jusqu'à Dueim, je constate que les anomalies, d'abord faibles, *augmentent* au fur et à mesure qu'on avance vers Aswân, puis de nouveau *diminuent* jusqu'au sud du Soudan.

b) **Période 1911—1920.**

Si je considère la deuxième moitié de tous ces tracés de 1910 à 1920 je constate que les anomalies d'abord grandes, *diminuent* au fur et à mesure qu'on avance vers Aswân, puis *augmentent* jusqu'au sud du Soudan.

On peut donc distinguer deux périodes par rapport à la grandeur de l'anomalie pour presque toutes les stations. L'anomalie est grande dans la deuxième période si elle est petite dans la première et vice-versa. Si l'on compare les stations entre elles, on voit que l'anomalie suit, du Nord au Sud du pays, une marche assez nette et qui présente dans chacune des deux périodes, une inversion aux alentours d'Aswân, en sorte que l'anomalie à Aswân est maxima dans la première période et minima dans la deuxième période. (Voir Fig. 6, page 29).

Pour avoir une mesure *quantitative* de la croissance et de la décroissance de ces anomalies, j'ai calculé les coefficients de *variabilité périodique annuelle* des écarts en comparant chacune des moyennes annuelles des écarts, à la moyenne totale pour chacune des périodes séparément et pour chacune des stations contenues dans ce diagramme. Pour la période de 1911—1920 j'ai ajouté quelques autres stations du réseau Soudanais, dont les années étaient incomplètes pendant la première période. Les résultats sont donnés par le tableau XIII. Pour le choix de l'année 1910 comme année de séparation des deux périodes, j'ai été guidé par les courbes elles-mêmes. Le début de la première période reste douteux, faute d'existence d'observations antérieures à 1902, et la fin de la deuxième période inachevée, car les observations ne me sont pas accessibles.

TABLE XIII

Coefficients de variabilité périodique annuelle des écarts en millimètres.

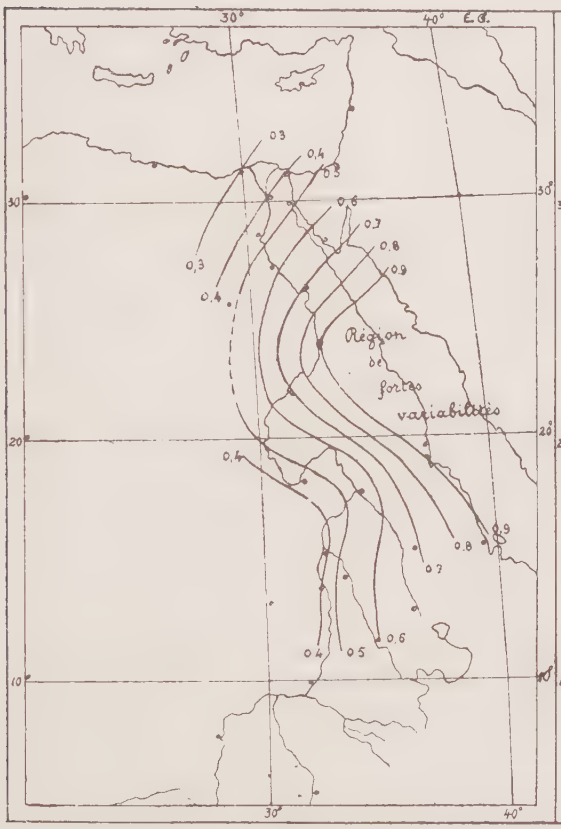
STATIONS	Période 1902—1910		Période 1911–1920	
	coefficient de variabilité	différence avec Aswân	coefficient de variabilité	différence avec Aswân
Alexandrie	0,32	— 0,59	0,72	+ 0,38
Port Said	0,36	— 0,55	0,71	+ 0,34
Abbassia	0,44	— 0,47	0,83	+ 0,49
Giza	0,41	— 0,50	0,75	+ 0,41
Assyût	0,62	— 0,29	0,63	+ 0,29
Aswân	0,91	base	0,34	base
Wadi-Halfa	0,74	— 0,17	0,44	+ 0,10
Merowe	—	—	0,30	— 0,04
Atbara	0,51	— 0,40	0,44	+ 0,10
Kassala	—	—	0,59	+ 0,25
Khartoum	0,34	— 0,57	0,21	— 0,13
Suakin	0,87	— 0,04	—	—
Port Soudan	—	—	0,65	+ 0,31
Roseires	—	—	0,45	+ 0,09
Wad Medani	0,56	— 0,35	0,53	+ 0,19
Dueim	0,42	— 0,49	0,25	— 0,19
El Obeid	—	—	0,65	+ 0,31
Kodok	—	—	0,29	— 0,05
Mongalla	—	—	0,72	+ 0,38

La première colonne de ce tableau donne, pour chaque période, le coefficient de variabilité trouvé, et la seconde, la différence pour chaque station entre le coefficient de la station et

celui d'Aswân qui est pris comme *base*. L'examen de ce tableau indique pour la première période (1902—1910) une croissance continue du coefficient de variabilité de chaque courbe depuis Alexandrie jusqu'à Aswân, puis une décroissance vers le Sud. Les différences entre chaque station et la base sont toutes *négatives* et diminuent en valeur absolue jusqu'à Aswân pour augmenter ensuite. Pour la deuxième période (1911—1920), les coefficients de variabilité décroissent depuis Alexandrie jusqu'à Aswân, puis une croissance est observée vers le Sud. Les différences entre chaque station et la base sont pour la plupart *positives*, sauf quelques exceptions. Ces quelques irrégularités dans la distribution des coefficients et leur différence avec la base, comme par exemple pour Suakin dans la première période, Dueim, Khartoum et Kodok dans la seconde, sont dues au fait très important que l'inversion ne se fait pas strictement à une latitude donnée (comme je l'ai supposé dans ce qui précède pour simplifier), mais à travers une région entière comme le montrent les deux cartes suivantes. La continuité du phénomène n'est donc nullement atteinte par ces irrégularités apparentes.

CARTE I

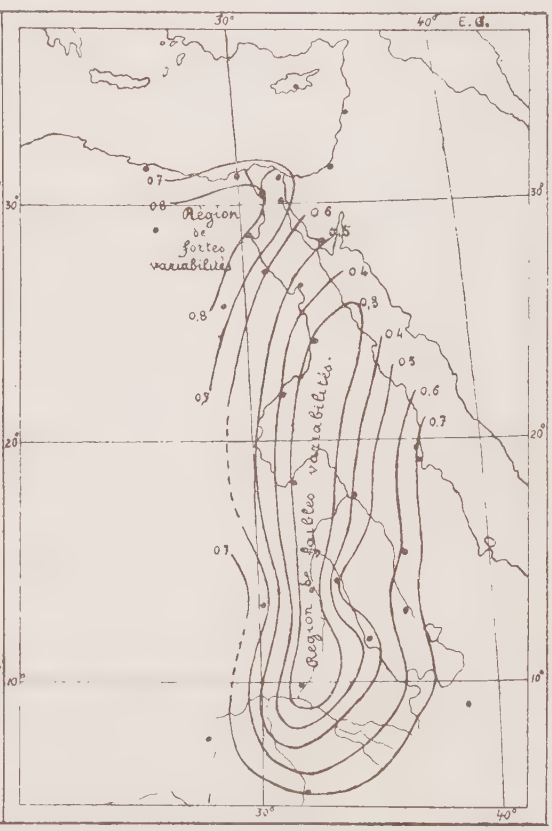
Période 1902—1910.



Distribution des coefficients de variabilité périodique annuelle des écarts en millimètres.

CARTE II

Période 1911—1920.



Distribution des coefficients de variabilité périodique annuelle des écarts en millimètres.

Ces cartes donnent les lignes d'égale variabilité périodique annuelle pour les deux périodes considérées, tirées des chiffres du tableau XIII.

Carte I, première période 1902—1910.

Pour cette période, on trouve à l'est d'Aswân, Port Soudan et Suakin sur la mer Rouge et l'Arabie une région de grande variabilité des écarts de pression. Cette variabilité diminue progressivement vers le Nord, l'Ouest et le Sud-Ouest de cette région. On ne peut malheureusement pas compléter ces courbes sur l'Arabie, faute d'existence d'observations. La variabilité est 0,9 mm. à Aswân et 0,3 mm. à Alexandrie et à Khartoum.

Carte II, période 1911–1920.

Pendant cette deuxième période un phénomène diamétralement opposé se produit. Une région de très faible variabilité apparaît et s'étend sous forme d'une longue bande depuis Aswân, entre Atbara et Merowe, à travers Khartoum, vers la zône équatoriale. Dans cette bande, les coefficients de variabilité varient entre 0,2 et 0,3 mm. Sur la Basse-Égypte du côté du Sahara, il apparaît une région de forte variabilité (0,7 à 0,8 mm.).

Le phénomène d'inversion est donc caractérisé par un changement total dans la distribution des coefficients de variabilité entre la carte I donnant leur distribution pour la période (1902-1910) et la carte II donnant leur distribution pour la période (1911—1920). Pour la première période la variabilité est grande sur une région à l'est d'Aswân définie plus haut, et faible sur la Basse-Égypte par exemple, alors que pour la deuxième période elle est forte sur la Basse-Égypte et faible sur Aswân, pour ne considérer la marche que dans cette direction. Je ne puis me prononcer sur l'origine et les lois de déplacement de ces régions de forte ou faible variabilité périodique annuelle des écarts vu le nombre restreint d'années considérées (19 ans).

Il paraît admissible, comme je l'ai dit plus haut, de considérer la moyenne annuelle des écarts comme représentant, d'une certaine manière, l'intensité des dépressions et des anticyclones qui se sont succedés à un bref intervalle au cours de l'année. La variabilité périodique de l'écart moyen de l'année pourrait donner dans cet ordre d'idées une mesure de la variabilité d'année en année, du phénomène de succession des aires de haute et basse pression. Ainsi un fort coefficient de variabilité périodique annuelle pourrait représenter, en quelque sorte, une suite de *pulsations atmosphériques* tandis qu'une région caractérisée par une faible variabilité des écarts serait un lieu d'*amortissement* pour ces pulsations. D'après cette conception, les régions de variabilité maxima ou minima deviendraient pour ainsi dire des centres d'action dynamique*) (noyaux positifs ou de pulsation, négatifs ou d'amortissement). Les cartes I et II montrent qu'en Égypte et sur le Soudan la position de ces noyaux pendant la deuxième période est à peu près l'inverse de ce qu'elle était pendant la première.

La région de variabilité maxima pendant la deuxième période est celle qui est surtout influencée par les systèmes cycloniques et anticycloniques de la Méditerranée et du nord du Sahara; la région où la variabilité est maxima pendant la première période est surtout influencée par les mouvements du système dépressionnaire du golfe Persique et de l'Arabie. *En résumé le résultat trouvé pourrait être interprété dans ce sens qu'aux époques où les mouvements des systèmes cycloniques et anticycloniques de la Méditerranée présentent un maximum de constance d'année en année, ceux des systèmes dépressionnaires du golfe Persique et de l'Arabie présentent au contraire un maximum de variabilité d'une année à l'autre et vice-versa.*

Il pourrait être intéressant d'étudier si de pareils déplacements des noyaux positifs ou négatifs se produisent sur d'autres parties du Globe et s'ils sont liés aux variations des autres éléments météorologiques.

En tous cas, en Égypte, la variation de la distribution des coefficients de variabilité des écarts, m'a paru présenter une parallélisme assez net, d'une part avec la variation du nombre des taches solaires et d'autre part avec la succession des années de forte ou faible crue du Nil. La recherche approfondie de ces ressemblances fera l'objet d'études ultérieures.

CHAPITRE V

Représentation cartographique des écarts de pression atmosphérique.

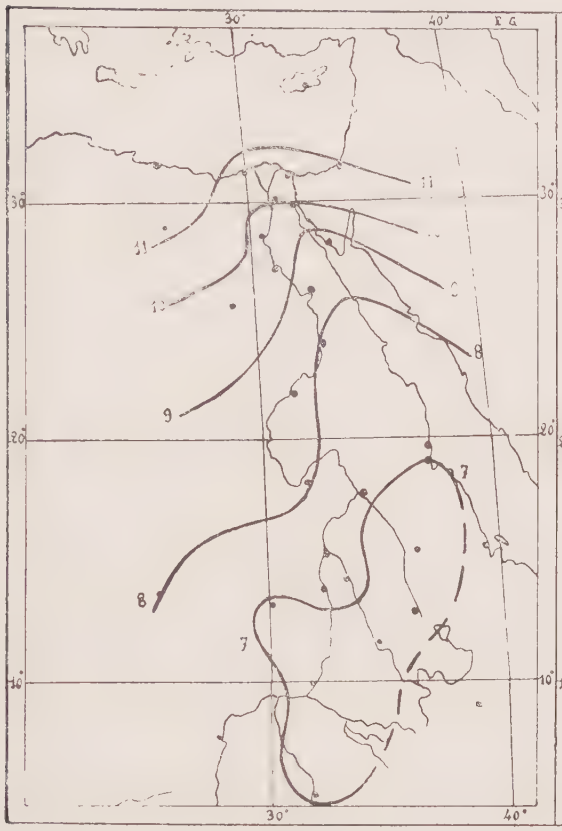
Je donne ici quelques représentations sur des cartes, de la distribution des écarts de pression atmosphérique sur l'Égypte et le Soudan.

La carte III donne une idée de la distribution normale des écarts sur l'Égypte et le Soudan. La ligne représentant un écart moyen de 10 millimètres traverse la Basse-Egypte dans la direction nord-est sud-ouest. Les écarts vont ensuite en diminuant parallèlement à cette ligne

*) Ce terme a un sens autre que celui défini par Teisserenc de Bort.

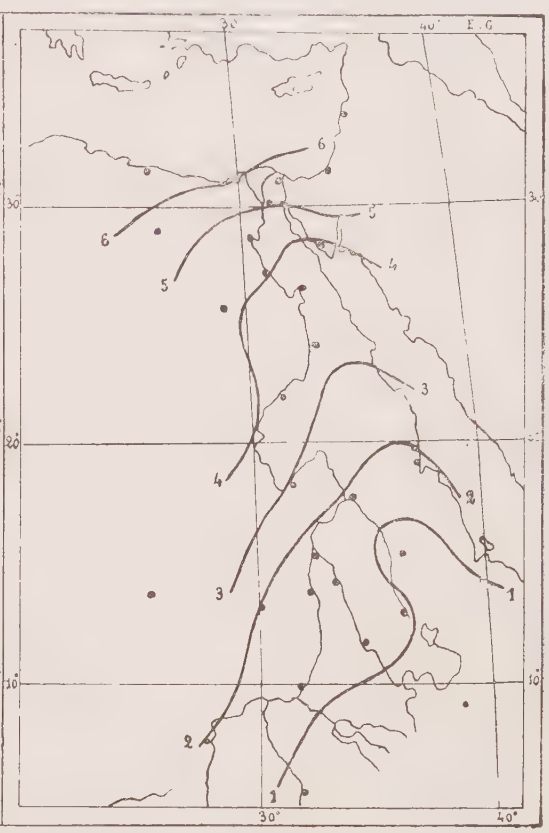
jusqu'au Soudan où une aire fermée d'écarts moindres que 7 millimètres occupe une partie des districts Nord et Sud Soudanais. Le grand axe de cette aire se trouve, lui aussi, dirigé dans la direction nord-est sud-ouest.

CARTE III



Distribution annuelle des écarts pour la période de quinze ans (1906—1920) en millimètres.

CARTE IV



Différences entre les écarts de la période hivernale et ceux de la période estivale en millimètres.

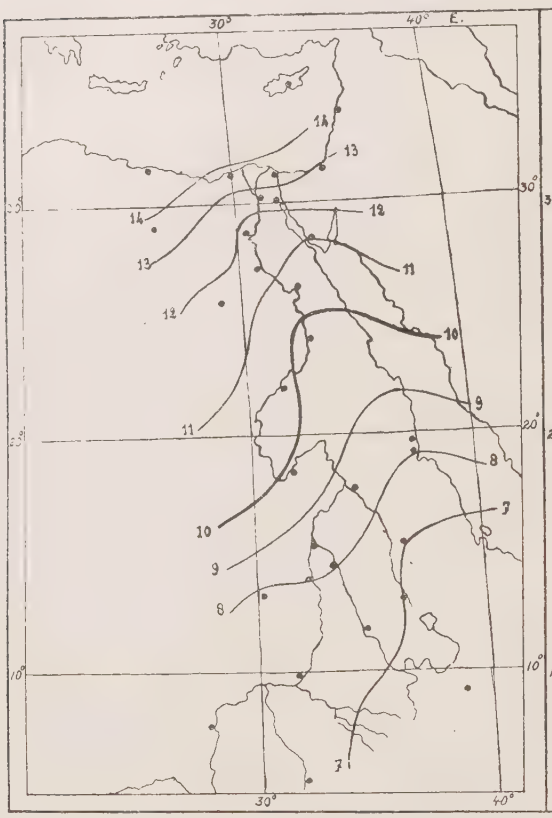
Les données du tableau VIII ont été groupées en deux séries. La première depuis Novembre à Avril inclusivement représente la période hivernale, la seconde depuis Mai à Octobre inclusivement, la période estivale. Ce groupement a été adopté en vue de faire ressortir cartographiquement la différence radicale qui existe entre la période d'été, où le pays tout entier se trouve sous des conditions atmosphériques semblables: celui des vents alizés réguliers vers l'équateur, et la période d'hiver, où, une partie se trouve sous le régime des vents variables vers le pôle et l'autre, sous le régime des vents réguliers vers l'équateur. Les chiffres ainsi groupés sont donnés en millimètres par le tableau suivant qui a servi pour la construction des cartes IV, V et VI.

Stations	Période hivernale	Période estivale	Différences	Stations	Période hivernale	Période estivale	Différences
Alexandrie	13,9	7,5	6,4	Merowe	9,7	6,7	3,0
Port Said	13,4	7,9	5,5	Atbara	8,4	6,3	2,1
Abbassia	12,9	7,7	5,2	Kassala	7,0	6,2	0,8
Gîza	13,0	7,6	5,4	Khartoum	8,1	6,6	1,5
Helwân	12,4	7,4	5,0	Port Soudan	8,0	6,3	1,7
Suez	12,3	7,6	4,7	Gallabat	7,3	6,2	1,1
Tor	10,8	7,0	3,8	Roseires	7,5	6,2	1,3
Qasr-el-Gabali	11,8	7,4	4,4	Wad Medani	8,0	6,3	1,7
Asyût	11,7	7,3	4,4	Dueim	8,0	6,7	1,3
Dakhla	11,1	7,0	4,1	El Obeid	7,6	5,6	2,0
Aswân	9,6	6,4	3,2	Kodok	7,3	6,2	1,1
Wadi-Halfa	10,7	6,8	3,9	Mongalla	7,2	6,3	0,9

On voit que pour la période hivernale, la différence entre la plus forte valeur (13,9 mm. à Alexandrie) et la plus faible (7,0 mm. à Kassala), est 6,9 mm. Par contre, pour la période estivale, cette même différence n'est que de 2,3 mm. entre Port-Said et El Obeid.

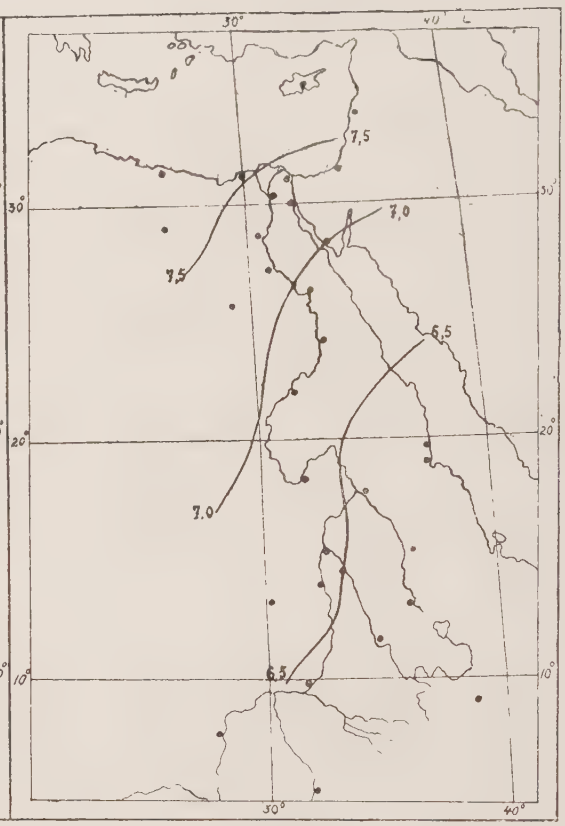
Portées sur la carte V, ces valeurs indiquent qu'il y a pour la période hivernale un gradient très marqué dans la distribution des écarts entre l'Égypte et le Soudan. Toutefois les lignes d'égal écart sont plus rapprochées en Égypte et plus espacées dans le Soudan. Cette distribution indique nettement la différence des régimes atmosphériques auxquels ces deux contrées sont soumises en hiver. La ligne de délimitation de ces deux régions doit passer approximativement entre Aswân et Wadi Halfa.

CARTE V



Distribution des écarts annuels moyens pour la période hivernale en millimètres.

CARTE VI



Distribution des écarts annuels moyens pour la période estivale en millimètres.

Pour la période estivale, on ne peut guère tracer sur la carte VI que la ligne de 7 mm. Il n'existe presque pas de gradient et pour faire ressortir l'allure de ces lignes j'ai dû tracer des isoplèthes de 0,5 mm. d'écart. Manifestement pendant cette période le pays entier se trouve sous l'influence d'un seul régime atmosphérique. Aussi la carte IV, donnant la différence entre les écarts pendant la période hivernale et estivale, montre que ces différences sont loin d'être uniformes sur tout le pays. Elles sont faibles dans le Soudan et très grandes à mesure qu'on s'éloigne de l'équateur. Cette distribution isanomale confirme encore une fois la distinction qu'on doit toujours faire entre les deux régimes du pays.

Pour donner une idée de la distribution des valeurs extrêmes des écarts, j'ai choisi un mois où les écarts sont maximum et un mois où ils sont minimum.

Ce sont respectivement les mois de Février 1911 et Août 1911. Pour Février 1911, la carte montre un resserrement extraordinaire des isoplèthes. Des écarts supérieurs à 22 mm. sont observés en Égypte.

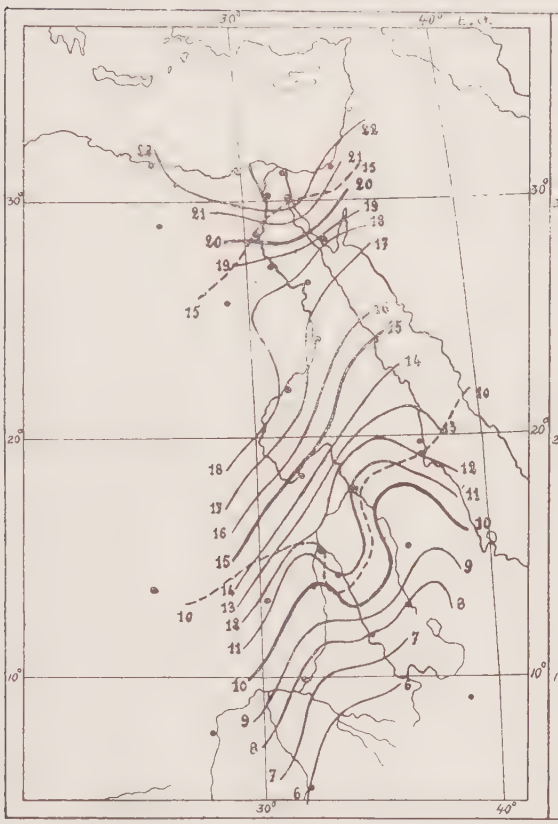
La ligne de 15 mm. d'écart qui normalement pendant ce mois devait passer sur la Basse-Égypte, se trouve refoulée vers la Haute-Égypte et le Soudan. Il est curieux aussi de remarquer la déviation que subissent les lignes d'égal écart sur le grand Delta formé par le Nil Blanc et la rivière Atbara.

Tout au contraire pour Août 1911, la distribution des écarts est très uniforme. La ligne de 5 mm. d'écart domine à peu près toute l'Égypte et le Soudan tandis que, normalement, elle ne devrait englober qu'une petite portion de la Haute-Égypte et la Mer Rouge

Il ressort de l'étude des cartes que la variation de l'écart suit sur l'Égypte et le Soudan la direction nord-ouest sud-est. Cette direction est aussi, comme je l'ai déjà observé, celle de la propagation des vagues de froid et de chaleur en Égypte et celle des vagues de pression atmosphérique.

CARTE VII

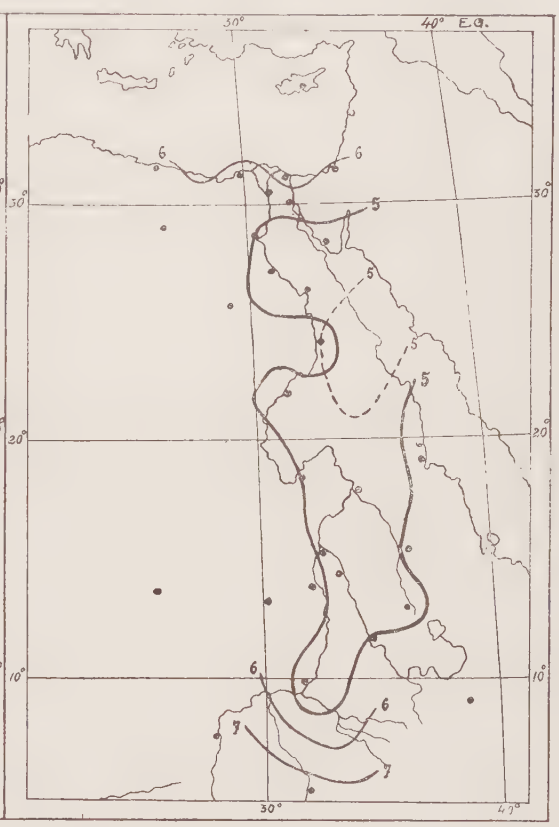
Février 1911.



Un mois de très grands écarts de pression atmosphérique.

CARTE VIII

Août 1911.



Un mois de très faibles écarts de pression atmosphérique.

Fluctuations des écarts mensuels en millimètres. Les tracés en pointillé indiquent la valeur et la position des écarts normaux pour le mois.

CHAPITRE VI

Irrégularités des écarts de pression atmosphérique observées en Septembre.

J'ai déjà signalé l'existence d'une irrégularité dans la marche saisonnière des écarts qui est observée au mois de Septembre. Elle consiste en un saut brusque de la valeur de l'écart entre Août et Septembre et en une diminution aussi rapide entre Septembre et Octobre, après

quoi, de nouveau, l'écart augmente régulièrement. Ce phénomène n'a pas toujours la même intensité, mais en certaines périodes il est très marqué, tandis qu'en d'autres il disparaît totalement, ou encore, mais plus rarement, il subit un décalage vers le mois d'Août. Ce phénomène s'observe surtout dans les stations de la Basse-Égypte et aussi, avec une diminution d'amplitude, dans les stations de la Haute-Égypte. Les causes en sont actuellement obscures, mais elles pourraient être dues aux influences équinoxales. M. W. MARRIOTT *) dans une étude sur les variations du climat en Angleterre a observé, dans la progression des éléments météorologiques, pareilles irrégularités en Septembre. Comme ce phénomène subit une certaine périodicité et que pour la présente période les cas défavorables sont plus nombreux que les cas favorables, les valeurs moyennes représentées sur la figure 5 n'accusent qu'une faible augmentation en Septembre.

TABLE XIV

Irrégularités des écarts de pression atmosphérique en millimètres observées en Septembre.

	BASSE-ÉGYPTE Valeurs moyennes			HAUTE-ÉGYPTE Valeurs moyennes		
	Août	Septembre	Octobre	Août	Septembre	Octobre
1906	5,4	7,5	5,6	6,2	6,0	6,7
1907	7,0	8,2	8,0	6,4	5,6	6,2
1908	6,8	8,4	6,3	5,6	7,2	5,7
1909	6,3	8,4	7,6	6,4	6,6	7,0
1910	6,3	7,3	6,0	5,6	7,5	6,5
1911	5,4	6,4	7,4	4,9	6,2	6,2
1912	6,7	6,2	6,2	6,5	7,4	9,2
1913	8,2	7,0	6,1	7,2	7,4	7,5
1914	6,4	7,7	7,5	5,6	6,2	6,3
1915	5,6	7,2	8,3	7,0	8,7	6,6
1916	5,5	5,6	7,6	6,0	6,9	7,5
1917	5,0	9,6	9,0	5,7	8,8	5,1
1918	6,2	6,0	7,0	5,7	6,4	7,4
1919	5,8	6,8	9,2	6,1	6,2	6,3
1920	5,2	7,0	8,0	6,8	7,0	6,9
1906—1910	6,4	8,0	6,7	6,0	6,6	6,4
1911—1915	6,5	6,9	7,1	6,2	7,0	7,2
1916—1920	5,5	7,0	8,2	6,1	7,1	6,6
1906-1920	6,1	7,3	7,3	6,1	6,9	6,7

Pour mieux faire ressortir l'importance en certaines années de ce phénomène, le tableau XIV a été dressé donnant pour chaque année et pour chaque district de la Haute- et la Basse-Égypte les valeurs moyennes correspondantes. On a examiné quatre stations de la Basse-Égypte à savoir: Alexandrie, Port Said, Abbassia et Gîza et trois pour la Haute-Égypte à savoir: Asyût, Aswân et Wadi-Halfa. En somme, pendant la période 1906—1920 pour le district de la Basse-Égypte soixante observations individuelles de Septembre ont été comparées, et quarante-cinq pour le district de la Haute-Égypte. Sur les soixante mois de Septembre considérés pour le district de la Basse-Égypte, il y en a eu 17 dont les écarts furent nettement supérieurs à ceux d'Août et d'Octobre et 8 dont les écarts furent nettement supérieurs à ceux d'Août, mais

*) Quarterly Journal Royal Meteorologial Society Année 1911, page 235.

seulement légèrement supérieurs à ceux d'Octobre: soit 25 favorables sur 35 moyens ou défavorables.

Les moyennes annuelles données par le tableau XIV et celles groupées par périodes de cinq ans, indiquent que de toutes les périodes examinées celle de 1906—1910 fut très nettement favorable à la production du phénomène en question.

CHAPITRE VII

Covariation entre les écarts de pression atmosphérique et certains éléments météorologiques.

J'ai étudié la covariation entre les écarts de pression atmosphérique et les éléments météorologiques suivants: pression atmosphérique, température moyenne, température maxima, température minima, et pression de vapeur.

Pour ces calculs, je n'ai utilisé que les moyennes annuelles des écarts et des autres éléments météorologiques *) pour 15 stations principales réparties sur l'Égypte et le Soudan Par l'utilisation des moyennes annuelles, les variations diurnes et saisonnières des éléments météorologiques sont éliminées. Les stations employées sont:

Alexandrie	Dakhla	Khartoum
Abbassia	Aswân	Port Soudan
Gîza	Merowe	El Obeid
Helwân	Atbara	Kodok
Asyût	Kassala	Mongalla

Pour l'uniformité de comparaison les pressions atmosphériques ont été réduites à la gravité moyenne et au niveau de la mer. Toutes les températures ont été réduites au niveau de la mer en y appliquant des corrections variant entre 0°,5 et 0°,7 par 100 mètres d'altitude suivant la saison de l'année. Les résultats sont les suivants:

		r	n	ε
Écarts de pression	et pressions atmosphériques	+ 0,79	128	± 0,04
»	» température moyenne	— 0,76	127	0,04
»	» température maxima	— 0,78	132	0,03
»	» température minima	— 0,54	129	0,06
»	» pression de vapeur	— 0,52	128	0,06
Température moyenne	et pression atmosph.	— 0,89	129	0,02
» maxima	et température minima	+ 0,97	123	0,01

r=coefficient de covariation; n=nombre d'observations; ε=erreur probable.

*) Pour les maxima et minima, les moyennes annuelles dérivant des moyennes mensuelles des maxima et minima.

Le premier de ces coefficients signifie que la moyenne annuelle des écarts est généralement grande quand la pression moyenne est grande aussi. Or, l'écart est grand quand l'intensité des systèmes cycloniques et anticycloniques est grande. Le résultat trouvé veut dire que lorsqu'il y a eu des fortes dépressions, il y a eu aussi des anticyclones particulièrement intenses et que même sur le total de l'année ces derniers l'ont fortement emporté. Ceci tient sans aucun doute au fait qu'en grande moyenne, c'est-à-dire au point de vue de sa position dans la circulation générale, la partie du Globe envisagée ici a, en majorité, un régime anticyclonique *). La relation entre les écarts de pression et la température moyenne semble être en grande partie simplement une conséquence de la relation dont je viens de parler et de celle déjà connue entre la température et la pression (augmentation de pression correspondant à une baisse de température).

	r	ε
Coefficient de covariation entre les écarts et la pression en considérant la variation de la température comme étant *constante* .	+ 0,37	± 0,07
Coefficient de covariation entre les écarts et la température en considérant la variation de la pression comme *constante*	— 0,20	0,09
Coefficient de covariation entre la pression et la température en considérant la variation des écarts comme *constante*.	— 0,73	0,04

On voit cela en calculant les coefficients partiels de covariation. Pour le cas de la covariation partielle entre les écarts et la température quand la pression est considérée comme une constante, la valeur de ce coefficient diminue considérablement. La relation entre l'écart et la température maxima (voir page 37) comme il fallait s'y attendre est sensiblement la même qu'entre l'écart et la température moyenne. Elle est par contre bien plus faible entre l'écart et la température minima. Ceci tient à ce que le passage des fortes dépressions influe davantage sur les températures minima que sur les températures moyennes et les maxima, en élevant la valeur des minima. Somme toute, les résultats accusent une covariation assez marquée pour certains éléments entre les écarts de pression et les autres éléments météorologiques. Personnellement j'y vois la preuve que l'écart de pression, tel que je l'ai défini et employé dans ce travail, représente une réalité physique.

Du reste l'étude de ces phénomènes ne s'arrête pas ici. Des recherches analytiques sur les covariations entre les valeurs individuelles des écarts mensuels et les valeurs mensuelles des autres éléments météorologiques sont en cours d'examen.

*) On sait depuis longtemps que lorsque le maximum des Açores est particulièrement intense il y a de grandes chances pour que le minimum Islandais soit plus profondément creusé que d'habitude. J'ignore si l'on a étudié spécialement les écarts de pression pour la région des Açores aux différentes époques, mais comme ce centre n'est pas fixe et change assez souvent de position et qu'il est constamment contourné par des petites dépressions, il me semble probable qu'on devrait trouver une grande variabilité aux époques où ce maximum a une grande intensité et vice-versa, c'est-à-dire une covariation écart-pression analogue à celle que j'ai trouvée pour l'Egypte; mais pour la région islandaise on peut s'attendre à trouver un coefficient négatif.

RÉSUMÉ

On peut tirer de la présente étude les résultats suivants:

Pour la région s'étendant depuis 4° de latitude nord jusqu'à 31°5 de latitude nord, entre les parallèles 25° et 40° de longitude Est de Greenwich, soit à peu près sur une superficie de 420° degrés carrés géographiques et pour la période de 15 ans (1906-1920), j'ai calculé les écarts de pression atmosphérique représentés par la différence entre la valeur absolue maxima et la valeur absolue minima du mois. On peut considérer ces valeurs comme fournissant une indication de la succession des cyclones et anticyclones du mois, car l'étude de ces écarts et de leur variabilité permet de se représenter dans quelle mesure chaque station est influencée aux différentes époques de l'année, et aux différentes années, par le passage des dépressions et des anticyclones.

Dans ce travail les écarts sont tirés des observations tri-quotidiennes, sauf, pour quelques stations où ils ont été tirés des observations bi-quotidiennes: ces dernières valeurs ont été rendues comparables aux précédentes par des corrections convenables. J'ai pu montrer, en effet, que les écarts tirés des observations bi-quotidiennes sont en relation étroite avec les valeurs tirées des observations tri-quotidiennes et que la différence avec ces dernières est en moyenne de 0.7 mm. D'autre part, les écarts tirés des observations tri-quotidiennes peuvent être ramenés à ceux que fournissent les observations horaires, et dans ce cas, la correction à appliquer se trouve, elle aussi, être égale à 0,7 mm.

Les plus forts écarts s'observent en général en Février (35 % de tous les maxima) et les plus faibles en Août (30 % de tous les minima). Les premiers sont surtout la conséquence, d'une part, du passage de profondes dépressions dans la Méditerranée, d'autre part, des anticyclones qui s'avancent de la péninsule Balkanique vers le sud; les faibles écarts d'été sont dûs aux mouvements de l'aire de basse pression qui existe sur le golfe Persique en été, pendant la saison des moussons.

L'étude des moyennes mensuelles des écarts confirme cette différence entre l'été et l'hiver. En outre, les écarts sont forts dans les hautes latitudes et faibles dans les basses latitudes. Mais la diminution n'est pas uniforme: les courbes donnant la variation saisonnière de ces écarts pour les différents districts, *s'écartent* le plus les unes des autres en hiver et *se rapprochent* en été. La «*variabilité saisonnière*» des écarts, évaluée par les coefficients de variabilité absolue des écarts est, en effet, grande aux stations voisines du littoral méditerranéen et petite aux stations Soudanaises. Ce phénomène est dû au fait qu'en hiver une partie du pays (celle de lat. supérieure à 26° nord) est soumise au régime des vents variables allant vers le pôle, tandis que l'autre (celle de latitude inférieure à 26° nord) reste toujours sous le régime des vents réguliers vers l'équateur. En été, au contraire, un seul régime, celui des vents réguliers vers l'équateur, régit toute l'étendue du pays. La ligne de séparation de ces deux régimes subit les mêmes variations saisonnières en latitude que sur l'Atlantique. Mais les époques de l'année où le phénomène a lieu sont retardées par rapport à celles observées sur l'Atlantique. Ces résultats sont mis mieux en évidence par la représentation cartographique des écarts (Chap. V). Les cartes montrent en outre que les courbes d'égal écart sont dirigées à peu près du S.O. au N.E. La direction du «*gradient*» est par conséquent N.O. - S.E., ce qui coïncide avec la direction de propagation des vagues de pression atmosphérique. Une certaine irrégularité est aussi mise en évidence, d'après l'étude des cartes, dans la distribution des écarts en Septembre, surtout pour la période 1906—1910.

L'étude de la variation des écarts d'année en année, basée comme précédemment sur les coefficients de variabilité absolue des écarts, a été faite tout d'abord séparément pour les différents mois de l'année (*variabilité périodique mensuelle*). Parmi tous les mois, c'est Avril qui présente une variabilité périodique mensuelle maxima. En effet, ce mois est le plus agité en Égypte et correspond à la période d'apparition des vagues intenses de chaleur et des phénomènes concomitants connus sous le nom de « *Khamsin* ». En moyenne la variabilité périodique mensuelle est grande aux stations voisines du littoral méditerranéen et pour tous les mois diminue rapidement vers le Soudan. L'extension du calcul des coefficients de variabilité périodique mensuelle à plusieurs stations sur le globe de l'Équateur au Pôle et pour un grand nombre d'années, pourra conduire à la *delimitation* des diverses zones atmosphériques et pourra préciser leur mouvement saisonnier. D'après l'application que je viens de faire de ces idées, il semble bien que ces coefficients pourraient servir à indiquer l'état de trouble plus ou moins grand provenant des variations plus ou moins fréquentes ou rapides dans la succession des systèmes cycloniques et anticycloniques dans une région quelconque et qu'on peut difficilement détecter autrement.

Si l'on compare les moyennes annuelles des écarts d'année en année, on voit qu'elles varient relativement peu ; mais l'étude de cette variation, faite ensuite pour une période de dix-neuf ans (*variabilité périodique annuelle*), a montré que la période de dix-neuf ans envisagée pouvait être divisée en deux parties: 1902—1910 et 1911—1920; toutes les stations présentent soit une grande variabilité de 1902 à 1910 et une faible variabilité de 1911 à 1920, soit inversement une variabilité faible pendant la première période et une grande variabilité pendant la deuxième. La représentation graphique de cette variabilité pour chacune de ces deux périodes présente deux images absolument différentes et presque opposées: la région de plus faible variabilité pendant la première période correspond en effet à la région de plus forte variabilité pendant la deuxième; mais il n'y a pas identité complète entre la région de variabilité maxima pendant la première période et celle de variabilité minima pendant la deuxième période. Ces régions de variabilité maxima ou minima ont été interprêtées respectivement comme étant des *noyaux de pulsations et d'amortissement.* Un certain parallélisme entre leur déplacement et les variations du nombre des taches solaires d'une part, et la succession des années à fortes ou faibles crues du Nil d'autre part, fait espérer que l'étude de ces sortes de centres d'actions peut devenir fructueuse.

Le calcul des covariations entre les moyennes annuelles des écarts et les moyennes annuelles des autres éléments météorologiques a donné un fort coefficient positif pour la pression et un fort coefficient négatif pour la température. Ce dernier coefficient est une conséquence du coefficient de covariation entre les écarts-pression et la relation déjà connue qui existe entre la pression et la température moyenne.

L'existence de covariations étroites semble apporter à la notion de l'écart de pression tel qu'il a été défini et employé dans le présent travail, non seulement un appui solide mais un sens physique véritable.

CITATIONS

1° Survey Department, Ministry of Finance et Physical Department, Ministry of Public Works, Cairo Egypt: Annual Meteorological Reports, Years 1904-1917.

2° F. BRUNHES. — Le Contre-Alizé, Annales de Géographie, N° 91, année XVII, Janvier 1908, page I.

J. I. CRAIG — Tracks of the paths of depressions, Survey Department Annual Meteorological Report 1910, Introduction.

3° H. E. RAWSON. — The Anticyclonic Belt of the Southern hemisphere, Quarterly Journal of the Royal Meteorological Societey, Vol. XXXIV July 1908, pages 165-188.

The Anticyclonic Belt of the Southern Hemisphere (méme revue) Vol. XXXV Octobre 1909, pages 233-248.

Periodic changes in the seasonal positions and tracks of Anticyclones (même revue) Vol. XXXVI January 1910, pages 65-67.

The North Atlantic Anticyclone, Tracks of the centres of High Areas 1882-1883 (même revue) Vol. XXXVI July 1910, pages 197-210.

4° Dr W. J. S. LOCKYER. — Southern Hemisphere Surface air circulation, publication of the Solar Physics Commitee, WYMAN & Sons, London 1910, page I.

5° H. G. LYONS, F. R. S. — Climatic changes in Egypt and the Soudan, Quarterly Journal Royal Meteorological Society, Vol. XXXVI, pages 211-235.

6° J. I. CRAIG. — England — Abbyssinia — the South Atlantic, a meteorological triangle, Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, Vol. XXXVI, Octobre 1910, pages 341-360.

7° Dr KÖPPEN. — Die monatlichen Barometerschwankungen, deren geographische Verbreitung, Veränderlichkeit und Beziehungen zu anderen Phänomenen; Annalen der Hydrographie und maritimen Meteorologie, Heft V, Année 1882, page 275-288.

8° Voir exemples dans le Monthly Summary of the Weather in Egypt the Soudan and the Surrounding region. Année 1907. Survey Department Ministry of Finance, Cairo Egypt

9° Dr SUTTON. — Barometric Variability for the South African Stations in the Transactions of the Royal Society South Africa, Vol. IV, Part 2 année 1914.

10° LUCIEN MARCH. — La méthode statistique en économie politique. Revue de Métaphysique et de Morale, 28ème année, N° 2 Avril-Juin 1921, pages 137-173. A consulter pour l'emploi de la terminologie statistique.

G. U. YULE. — An Introduction to the Theory of Statistics, fifth edition, enlarged, Charles Griffin and Co, Ltd. Exeter street strand W. C., London.

11° N. A. COMISSOPOULOS. — On the seasonal Variability of Rainfall on the British Isles, Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, Vol. XLII, January 1916, pages 13-21.

12° — assisted by J. Wadsworth M. A. Variability of mean annual temperature over North America and Europe during the ten years (1900-1910) Q. J. R. Meteorological Society, Vol. XLVII, Octobre 1921, pages 283-286.

TABLE DES MATIÈRES

INTRODUCTION 9

1. Rôle du champ de pression atmosphérique au-dessus de l'Égypte et du Soudan dans la circulation générale de l'atmosphère. 9

2. La distribution de la pression atmosphérique sur l'Égypte et le Soudan 10

CHAPITRE PREMIER. — 1. La région considérée. Les données utilisées et la méthode de calcul. 13

2. Réduction des observations pour les rendre comparables 16

CHAPITRE II. — 1. Écarts maxima et minima et fréquence de ces écarts. 17

2. Moyennes mensuelles des écarts de pression et variation de ces moyennes . . . 21

3. Moyennes annuelles des écarts de pression et variation de ces moyennes d'année en année 24

CHAPITRE III. — 1. Variabilité saisonnière des écarts de pression atmosphérique . . . 24

2. Variabilité périodique mensuelle des écarts de pression atmosphérique. 26

CHAPITRE IV. — Variabilité périodique annuelle des écarts de pression atmosphérique . 27

CHAPITRE V. — Représentation cartographique des écarts de pression atmosphérique . 32

CHAPITRE VI. — Irrégularités des écarts de pression atmosphérique observées en Septembre 35

CHAPITRE VII. — Covariation entre les écarts de pression atmosphérique et certains éléments météorologiques 37

Résumé 39

Citations 41

DEUXIÈME THÈSE

PROPOSITION DONNÉE PAR LA FACULTÉ:

Étude hydrographique du Bassin du Nil: Les Crues du Nil et leurs prévisions.

VU ET APPROUVÉ:
Strasbourg, le 7 Décembre 1922,
Le Doyen de la Faculté des Sciences
signé: P. MULLER

VU ET PERMIS D'IMPRIMER:
Strasbourg, le 8 Décembre 1922,
Le Recteur de l'Académie de Strasbourg
signé: S. CHARLÉTY